



Elsa Inácio de Oliveira Um Sistema Inteligente de Ensino Assistido por Computador



Elsa Inácio de Oliveira Um Sistema Inteligente de Ensino Assistido por Computador

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Matemática, realizada sob a orientação científica do Dr. Luís Descalço, Professor Auxiliar do Departamento de Matemática da Universidade de Aveiro e sob a co-orientação do Dr. João Pedro Cruz, Professor Auxiliar do Departamento de Matemática da Universidade de Aveiro.

Dedico esta dissertação aos meus pais, que sempre me apoiaram e encorajaram para a concretização desta realização profissional.

o júri

presidente

Doutor Helmuth Robert Malonek
Professor Catedrático da Universidade de Aveiro

Doutor José Luís Pires Ramos
Professor Associado da Universidade de Évora

Doutor João Pedro Antunes Ferreira da Cruz
Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro (Co - Orientador)

Doutor Luís António Arsénio Descalço
Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro (Orientador)

agradecimentos

O meu primeiro e mais sincero agradecimento vai para o meu orientador Professor Doutor Luís Descalço, por todo o apoio, incentivo, dedicação, empenho e disponibilidade que sempre demonstrou durante a supervisão desta dissertação.

Ao Professor Doutor João Pedro Cruz, co-orientador desta dissertação, pelas suas sugestões e orientações finais.

Aos meus pais que estiveram sempre ao meu lado, incentivando-me nas horas difíceis e aplaudindo-me nos momentos de glória.

Às minhas irmãs, Ivone e Ana Cristina, pelo carinho, estímulo e apoio permanente.

À minha sobrinha, Catarina, pela alegria que trouxe a toda a família.

Ao meu namorado, Vítor, pelo apoio e carinho dado ao longo destes anos.

A todos os meus amigos que estiveram sempre presentes e me incentivaram com carinho e dedicação.

palavras-chave

computador, autómatos, probabilísticos, ensino assistido por computador, PmatE, sistema inteligente.

resumo

Na presente dissertação abordamos o uso das tecnologias na educação, apresentamos uma proposta de sistema inteligente de ensino assistido por computador no âmbito do ensino superior e uma adaptação deste sistema para sua aplicação a nível do ensino básico.

Começamos por uma breve apresentação da evolução histórica do uso do computador no ensino, dando a conhecer alguns projectos criados a fim de promover a implementação das novas tecnologias na escola.

Continuamos com uma introdução à teoria dos autómatos, que constitui a fonte de inspiração seleccionada para o desenho do nosso sistema. Fazemos depois referência ao Projecto Matemática Ensino da Universidade de Aveiro, PmatE, que nos forneceu uma ferramenta importante para o desenvolvimento do projecto, através da disponibilização dos Modelos da sua base de dados.

Finalmente descrevemos a aplicação que desenvolvemos: um sistema inteligente, não determinístico, adaptável ao ritmo de aprendizagem de cada aluno. O aluno responde a questões que são seleccionadas, não segundo uma ordem pré-estabelecida, mas com base nas suas respostas anteriores. Assim, cada aluno progride ao seu ritmo através dos diferentes temas da disciplina, sendo encaminhado para aqueles temas em que revela dificuldades ou suas bases, ou para temas mais complexos, caso não demonstre dificuldades.

O projecto foi inicialmente criado com base nos conteúdos da disciplina de Cálculo III da Universidade de Aveiro e, posteriormente, foi adaptado ao tema de Geometria do ensino básico e utilizado, em fase de experimentação, com alunos do 7º ano de escolaridade.

keywords

computer, automata, probabilistic, computer aided teaching, PmatE, intelligent system.

abstract

This thesis consists mainly on an overview about the use of technology in education and a proposal of a computer aided intelligent system for undergraduate students and its adaptation for secondary school.

We begin by presenting an historical survey about the use of computers in teaching, mentioning several projects created for promoting the implementation of new technologies in schools.

We continue with an introduction to automata theory, which constitutes the source of inspiration we selected to design our system. Then we refer the project Projecto Matemática Ensino of the University of Aveiro, PmatE, who has made available its database of Models, an important tool for the development of our project.

Finally we describe the software application we developed, an intelligent, non deterministic, system, adaptable to the learning speed of each student. A student answers questions that are not selected in a pre-established manner but based on the previous answers the student as supplied to the system. Hence, each student can progress at his own speed throughout the several topics of the course, being conducted to those topics he shows more difficulties, or their basis, or to more complex topics if he does not show difficulties.

Our system was firstly created with the contents of the course Cálculo III of the University of Aveiro, and then adapted for the topic Geometry of secondary school and used experimentally with the students from the 7th year.

Conteúdo

1	Introdução	1
1	Estrutura	1
2	Computadores na Educação	3
3	Autómatos	6
4	Ensino Assistido por Computador	9
2	O Computador na Prática Pedagógica	13
1	Diferentes Usos do Computador	14
1.1	O Computador no Processo Ensino-Aprendizagem	15
1.2	O Computador como Máquina de Ensinar	16
1.3	O Computador como Ferramenta de Ensino	17
2	Introdução das Novas Tecnologias na Educação em Portugal	18
2.1	Projecto MINERVA	19
2.2	Programa Nónio Século XXI	23
2.3	Uarte - Internet na Escola	25
2.4	Edutic	26
2.5	CRIE	27
3	Introdução das Novas Tecnologias na União Europeia	27
3.1	COMETT	27
3.2	DEDICATED	28
3.3	IDEALS	28
3.4	Conclusão	29
3	Autómatos	31
1	Autómatos	32
1.1	Autómatos e Linguagens Formais	34

1.2	Autómatos determinísticos	36
1.3	Autómatos não-determinísticos	37
1.4	Autómatos determinísticos e não-determinísticos	39
1.5	Operações com autómatos finitos	42
2	Autómatos Probabilísticos	48
2.1	Linguagem aceite por um autómato probabilístico	51
2.2	Autómatos Probabilísticos e Redes Neurais	52
2.3	Autómatos Probabilísticos e Modelos Escondidos de Markov	54
3	Aplicações e Conclusão	56
4	Sistemas de Ensino Assistido por Computador	59
1	Evolução dos Sistemas de Ensino Assistido por Computador	60
2	Aprendizagem Colaborativa Assistida por Computador	61
3	Teorias relacionadas com CSCL	63
3.1	Teoria Sociocultural de Vygotsky	63
3.2	Construtivismo	64
3.3	Flexibilidade Cognitiva	65
4	Sistemas de Ensino à Distância	66
5	Aplicações	70
5.1	Funcionalidades Web como Complemento ao Ensino Presencial	70
5.2	Projecto CALIOPE	71
5.3	Ambiente de Simulação Assistida por Computador em RCP	73
5.4	Ambiente de Aprendizagem Assistida por Computador de Álgebra Linear	77
5.5	Aprendizagem e Avaliação Assistida por Computador de Análise do Caminho Crítico	79
5	Projecto Matemática Ensino	83
1	O Projecto	83
2	Modelos Geradores de Questões	86

6	Sistemas Inteligentes de Ensino Assistido por Computador	91
1	O Projecto de Cálculo III - SA3C	92
2	O Projecto de Geometria - SA3Cg	98
3	Reflexões	116
A	SA3C - Código C#	123
B	SA3Cg - Código C#	143
C	Tabelas	151
D	Inquérito	155

Capítulo 1

Introdução

Hoje em dia, é já comum dizer-se que o computador, por si só, funciona como um elemento de grande motivação para o aluno e, conseqüentemente como um incentivo à descoberta e à aprendizagem. Tão pouco será original, afirmar que a utilização do computador contribui para a inovação da prática educativa.

Nos últimos anos, muitos sistemas de ensino têm vindo a repensar os seus objectivos e modelos de funcionamento, procurando renovar-se e adaptar-se às novas exigências da sociedade actual. De entre os factores que têm tornado necessário um repensar da escola, contam-se os rápidos desenvolvimentos tecnológicos a que estamos a assistir na sociedade e que, por um imperativo desta, se têm repercutido na prática educativa.

O implemento de novas tecnologias de informação no ensino pretende ocasionar o desenvolvimento, aumentar a motivação do aluno despertando mais interesse e curiosidade, reduzindo assimetrias da qualidade, garantindo a utilização de módulos de ensino com semelhante qualidade em diversas escolas, apoiando também sistemas de educação à distância.

1 Estrutura

A presente dissertação encontra-se dividida em três partes. A primeira parte faz uma breve introdução de como surgiram os computadores na educação e sua evolução histórica. Apresenta as diferentes maneiras de usar o computador na prática pedagógica e dá a conhecer alguns projectos criados em Portugal e

na União Europeia, a fim de promover a introdução das novas tecnologias na educação.

A segunda parte é sobre matemática, concretamente sobre autómatos e autómatos probabilísticos, os quais constituem o suporte matemático do nosso sistema de ensino assistido por computador. Nesta parte ainda é feita uma breve panorâmica da evolução dos sistemas de ensino assistido por computador. Faz-se referência à aprendizagem colaborativa assistida por computador e são referidas teorias relacionadas com este tipo de aprendizagem. É também referido o Projecto Matemática Ensino da Universidade de Aveiro, PmatE, que nos forneceu uma ferramenta importante para o desenvolvimento deste trabalho.

Finalmente, a terceira parte faz referência aos sistemas inteligentes de ensino assistido por computador, onde apresentamos o projecto desenvolvido no âmbito desta dissertação.

Estas três áreas temáticas encontram-se divididas em seis capítulos. No primeiro capítulo temos a parte introdutória do trabalho, onde se dá a conhecer, de forma resumida, o conteúdo da dissertação.

No segundo capítulo referenciamos diferentes usos do computador na prática pedagógica e damos a conhecer alguns projectos e iniciativas que incentivaram a utilização das novas tecnologias na educação.

No terceiro capítulo abordamos os autómatos a nível da sua definição, propriedades e aplicações, dando especial ênfase aos autómatos probabilísticos. Fazemos referência à ligação existente entre autómatos probabilísticos e redes neuronais e ainda entre autómatos probabilísticos e modelos escondidos de Markov.

O quarto capítulo faz uma breve abordagem da evolução dos sistemas de ensino assistido por computador, fazendo referência à aprendizagem colaborativa assistida por computador e ao sistema de ensino à distância. Ainda neste capítulo são apresentados alguns projectos de sistemas de aprendizagem e avaliação assistida por computador existentes em universidades portuguesas e estrangeiras.

O quinto capítulo é dedicado ao Projecto Matemática Ensino. É feita uma apresentação deste projecto, nomeadamente sua origem e sua estrutura de funcionamento.

Para finalizar, no último capítulo, apresentamos uma proposta de sistema inteligente de ensino assistido por computador a nível do Ensino Superior e uma adaptação ao Ensino Básico. Terminamos com algumas reflexões acerca deste sistema de ensino e algumas sugestões de aperfeiçoamento da aplicação desenvolvida.

2 Computadores na Educação

Alguns séculos passaram desde a construção das calculadoras mecânicas de Schickard, Pascal e Leibniz até a construção do Mark I, o primeiro computador electromecânico, desenvolvido na Universidade de Harvard, em 1945, que na realidade era uma calculadora gigantesca que operava sobre um sistema de válvulas. Deste precursor dos computadores até os actuais, ocorreu uma enorme evolução quanto à versatilidade, sofisticação e rapidez de processamento, bem como compactação das dimensões físicas com o aparecimento de portáteis e PDAs.

O uso do computador na educação é um fenómeno ainda mais recente, tendo as primeiras tentativas sido registadas em torno do início da década de 60. Numa primeira fase, que se prolongou aproximadamente até ao final da década de 70, o uso do computador nas escolas estava mais ligado ao uso administrativo. As tentativas de utilização didáctica eram restritas e, segundo os pesquisadores, apresentavam uma série de dificuldades. Mesmo assim, alguns autores consideraram os seus resultados animadores e prosseguiram nos seus trabalhos.

Nos finais da década de 50, no campo da utilização do computador na educação, o ensino programado de Skinner ([9]) desencadeou a geração de um paradigma de ensino - o ensino assistido por computador. Skinner propôs o uso de tecnologia no ensino, através das chamadas “máquinas de ensinar”, que permitia ao aluno progredir no seu próprio ritmo. Este modelo de ensino baseava-se nos pressupostos do behaviorismo, que “olhava” para a aprendizagem como um produto da relação estímulo-resposta. Estas *máquinas de ensinar* permitiam que o aluno recebesse estímulos à medida que avançava no conhecimento. Grande parte dos estímulos baseavam-se, simplesmente, na satisfação de dar respostas correctas aos exercícios propostos.

Skinner acreditava que um dos grandes problemas do ensino era o uso da punição. Defendia o uso de reforços positivos e não o castigo, que poderia levar os alunos a desistirem dos estudos. Deste modo, defendia ser necessário e importante a adaptação dos professores às novas tecnologias, de modo a incentivarem os alunos à descoberta, dando feedback ao que faziam, para que a aprendizagem realmente ocorresse.

Contudo, críticos deste modelo apontavam-no como “socialmente isolador”, uma vez que levava os alunos a fecharem-se no seu próprio mundo enquanto aprendiam. Faltavam benefícios da experiência em grupo e o aluno não tinha opção de discordar. O ensino programado de Skinner pretendia privilegiar um diálogo reactivo com o aluno, contudo reforçava, paradoxalmente, a natureza unidireccional da mensagem pedagógica.

Em meados da década de 60, o projecto Logo de Papert emergiu como o movimento mais representativo de um novo paradigma de ensino - bidireccional ou interactivo, privilegiando ambientes criativos de aprendizagem caracterizados pelo desenvolvimento de estratégias de ensino flexíveis em que o aluno, interagindo com o computador, com o professor ou com os outros alunos, procurava executar tarefas de aprendizagem e resolver problemas.

Numa segunda fase, com o advento da microinformática em 1975, quando foi construído o primeiro microcomputador nos Estados Unidos, verifica-se um grande aumento do uso do computador para fins pedagógicos naquele país, não só pela redução dos custos dos equipamentos, como pela facilidade de programação de conteúdos com linguagens mais simples como o Basic.

A década de 80 é marcada pela crescente informatização do sistema educacional americano. Em 1982, 50% dos distritos escolares davam acesso a pelo menos um microcomputador às suas escolas. Nesse mesmo ano, 25% das escolas públicas tinham pelo menos um computador destinado ao ensino. Em 1984, 70% das escolas americanas usavam o microcomputador para fins educativos.

À primeira vista, poder-se-ia dizer que a introdução das novas tecnologias através do uso de computadores em sala de aula traria o mesmo tipo de transformação que fora observado na ciência, na indústria ou nos negócios. Nestas áreas, os problemas específicos combinados com a nova tecnologia resultou num enorme aumento de eficiência. No entanto, o papel da tecnologia na educação não é tão claro, de certa maneira porque o processo e o produto do ensino

formal continuam, na sua maioria, sem especificação.

As vantagens e limitações originárias do uso do computador na educação estão vinculadas à forma como o mesmo é utilizado. Ou seja, a utilização deste vai ser determinada, em grande parte, pela filosofia de educação dos educadores que vão empregá-lo como um instrumento didáctico no processo ensino-aprendizagem. Nessa perspectiva filosófica, podemos diferenciar actualmente, segundo Marques, Mattos e Taille ([19]), duas posições sobre a forma mais adequada de utilizar o computador na educação. Uma das posições afirma que o computador deve ser usado só como um instrumento de aprendizagem. Nesta abordagem, dispondo do material necessário, em geral linguagens de programação, o aluno dirige a sua própria aprendizagem. Por exemplo, usando a linguagem LOGO, que permite através de instruções simbólicas o desenho de figuras geométricas na tela, ele pode descobrir sozinho conceitos geométricos, como abertura de ângulo, entre outros. A outra posição defende o uso do computador como instrumento didáctico, fornecendo ao aluno programas educativos estruturados que visam cumprir um determinado objectivo, vinculado ou não ao currículo.

Estas duas formas de utilização não são necessariamente incompatíveis, podendo até ser consideradas complementares. Não podemos esquecer que utilizar o computador apenas como recurso de aprendizagem pode representar uma subutilização de um recurso extremamente rico e versátil, porque embora possa produzir benefícios, como a construção da própria aprendizagem, o desenvolvimento do raciocínio lógico, etc., esta forma de utilização está, momentaneamente, limitada a áreas específicas de aprendizagem como Física, Matemática, Geometria, ou linguagens de programação, que exigem uma maturidade ainda maior do aluno em relação ao raciocínio lógico. Contudo, o uso do computador como instrumento de ensino traz a vantagem de possibilitar a introdução de praticamente qualquer área do currículo, em qualquer momento do processo ensino-aprendizagem. Além disso o computador, por características que lhe são próprias, apresenta algumas vantagens sobre outros instrumentos didácticos em muitas situações de ensino, das quais, se podem citar as seguintes:

- é um recurso audiovisual superior aos demais por ser interactivo. Neste

sentido, pode solicitar e responder às intervenções do aluno, evitando que este permaneça passivo e, conseqüentemente, que se disperse para outros aspectos não relevantes da situação;

- além de ser um recurso audiovisual interactivo, o computador possui a vantagem de poder obedecer ao ritmo próprio de cada aluno;
- outro ponto positivo a ter em conta é a prontidão com que o aluno recebe o feedback às suas intervenções.

Estas características fazem do computador um instrumento totalmente diferente daqueles com os quais o aluno se relaciona habitualmente. Podem talvez ser responsabilizadas pelo elevado grau de motivação por parte dos alunos, em usar este instrumento sempre que possível, isto porque, mesmo já tendo tido algum contacto com o computador, os alunos continuam predispostos a novos contactos.

A motivação é extremamente importante para qualquer aprendizagem, pois, sem ela, é pouco provável que a atenção do indivíduo esteja voltada para o que deve aprender. Neste sentido, acredita-se que a motivação, aliada a outros pontos positivos do computador, pode contribuir significativamente para o processo ensino-aprendizagem.

3 Autómatos

O interesse em encontrar formas de fugir aos trabalhos rotineiros e repetitivos deu origem à construção, em grande escala, de máquinas, por volta do século XVIII. Ocorreu nesta altura a revolução industrial.

Com o desenvolvimento tecnológico, mais visível a partir da segunda guerra mundial, foram construídas máquinas cada vez mais eficientes e que substituem o Homem, essencialmente no que concerne às tarefas de processamento de informação, dando origem à denominada revolução da informação.

O interesse pelo estudo das propriedades inerentes aos sistemas de informação utilizados deu origem a uma nova área científica, chamada *teoria dos autómatos*. Basicamente o seu principal objectivo é descrever o comportamento dos sistemas de reconhecimento de padrões e de controle. O comportamento

deste tipo de sistemas é determinado pelo modo como este é construído e pelo seu modo de funcionamento interno. Para determinar o sistema é preciso conhecer as entradas do sistema, o conjunto de estados, o conjunto de estados de saída e o modo como estes conjuntos se relacionam, a que chamamos *transição do sistema*.

A ideia de autómato surgiu já no século XVII impulsionada pelo determinismo científico da época. O crescente conhecimento do mundo físico fez com que se comparasse o universo a uma máquina, tal como Descartes já tinha especulado acerca dos animais e até mesmo do ser humano.

Uma das formas mais habituais de representar um autómato é através de um grafo. Os nós do grafo, representados por círculos, correspondem aos estados do autómato e as entradas são simbolizadas por meio de setas, etiquetadas pelo símbolo de entrada, e ligam um estado a outro estado do autómato. Surge ainda a noção de estado inicial, que corresponde ao estado em que se encontra o autómato antes de qualquer entrada.

Um exemplo de um autómato simples é o do funcionamento de uma máquina de café que aceita moedas de 5 cêntimos, 10 cêntimos e 20 cêntimos e devolve um café por 25 cêntimos. As moedas são as entradas da máquina e a máquina aceita e reconhece qualquer sequência de moedas que perfaça um total de 25 cêntimos. Um excerto do funcionamento da máquina de café encontra-se ilustrado na Figura 1.1.

Como se pode verificar, cada sequência de entradas corresponde a um percurso entre o estado inicial, q_0 , e o estado final, q_{25} .

De um modo geral, podemos afirmar que um autómato finito é formado por:

- um conjunto de entradas;
- um conjunto de estados, incluindo o estado inicial e os estados finais;
- uma função de transição, responsável pelo comportamento do autómato que a cada par (entrada, estado) faz corresponder o estado de saída.

No entanto, existem sistemas cuja transição é descrita de modo probabilístico. Para a análise e explicação deste tipo de sistemas recorreremos aos

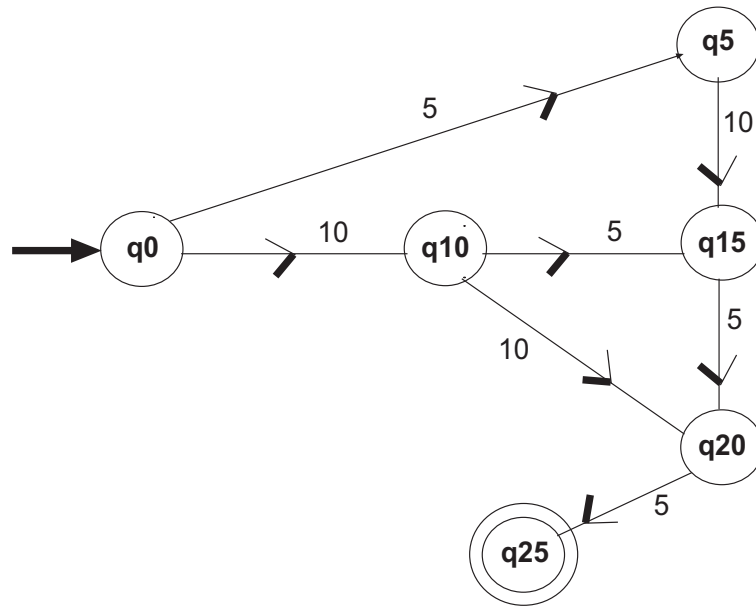


Figura 1.1: Excerto do funcionamento de uma máquina de café

autômatos probabilísticos. Os autômatos probabilísticos são uma generalização dos autômatos em que um símbolo de entrada pode levar o autômato de um estado a outro com uma certa probabilidade. Pensemos, por exemplo, no lançamento de um dado equilibrado. O conjunto de estados do autômato é o conjunto $Q = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$; as entradas do autômato são os lançamentos do dado; a função de transição é a aplicação que a cada estado, atendendo ao lançamento ocorrido, faz corresponder o estado de saída. Note-se que, tratando-se de um dado equilibrado, a cada transição está associada a probabilidade de $\frac{1}{6}$, ou seja, dado um estado e um lançamento, cada um dos estados do autômato pode ser o próximo estado de saída com a probabilidade de um $\frac{1}{6}$. Se quisermos modelar um dado não equilibrado basta associar a cada transição a respectiva probabilidade.

De um modo geral, podemos afirmar que um autômato probabilístico finito é formado por:

- um conjunto de entradas;
- um conjunto de estados, incluindo o estado inicial e os estados finais;
- uma função de transição, responsável pelo comportamento do autômato

que, a cada par (entrada, estado) faz corresponder o estado de saída;

- uma matriz de probabilidades $[p_{ij}]$, onde para cada entrada, a , p_{ij} é a probabilidade do autómato transitar do estado q_i para o estado q_j sob a entrada a .

4 Ensino Assistido por Computador

Desde a década de 80 até aos dias de hoje, a indústria informática sofreu uma evolução exponencial, sem paralelo noutras indústrias. E tudo indica que esta evolução não irá abrandar no futuro, incidindo, prioritariamente, nos seguintes objectivos: reduzir o tamanho dos computadores, aumentar as suas performances (velocidade, espaço da memória, resolução gráfica), reduzir o preço a valores mais acessíveis e criar aplicações inovadoras tendo por base a Internet.

O ensino assistido por computador constitui uma estratégia inovadora para muitas áreas do conhecimento. De um modo geral, os alunos de todos os níveis de ensino demonstram um grande entusiasmo na utilização de computadores. Este entusiasmo é uma inesgotável fonte de motivação, que os professores devem explorar para que os alunos tenham gosto na aprendizagem de novos conhecimentos e consequentes aplicações práticas.

O interesse dos alunos pela informática começa, quase sempre, pelo entretenimento, proporcionado pela diversidade de jogos de computadores existentes no mercado. Numa fase posterior, é usual a utilização de programas de processamento de texto que permitem redigir os trabalhos escolares de um modo mais apresentável do que se fossem escritos à mão, sendo também habitual a utilização de uma folha de cálculo para a construção de gráficos e tabelas, assim como outras aplicações informáticas. Por fim, é notória a evolução de alguns alunos nas áreas de programação, fabricando os seus próprios programas.

Nos últimos anos assistiu-se a uma proliferação de muitas aplicações didácticas multimédia que abordam temas tão diversos como a biologia, a geografia ou mesmo a literatura. Podemos considerar igualmente que o desenvolvimento de enciclopédias e dicionários multimédia, dadas as suas potencialidades de

interactividade, grandes quantidades de informação e aspecto visual atraente, tornam para os alunos as suas pesquisas numa actividade de prazer.

Actualmente, pode-se afirmar que uma certa “cultura geral informática” não é exclusiva de alguns grupos de alunos ou agrupamentos disciplinares, mas sim da quase generalidade dos alunos. De um modo geral, quase todos os alunos afirmam que um dos principais factores de motivação para trabalharem com um computador é a possibilidade de trabalharem ao seu próprio ritmo e dentro dos limites dos seus conhecimentos. A inexistência do embaraço perante os outros colegas, no caso de erros ou de falta de conhecimentos, devido ao facto de não estarem expostos a estes quando se enganam, livrando-se assim de uma possível apreciação negativa, levam os alunos a não terem medo de tentar novas situações e a arriscar mais. Sentindo-se em segurança, os alunos ficam mais confiantes nas suas capacidades e mais conscientes das suas limitações.

A apetência natural dos jovens por tudo que é novo ou moderno faz com que estes se integrem com entusiasmo em qualquer actividade (didáctica ou não) que utilize os meios informáticos como ferramentas de trabalho. Nos dias que correm, é muito frequente encontrarem-se computadores em diversos lugares e este contacto com os computadores é, também, outro dos factores de motivação que fazem com que um jovem aluno abrace o trabalho com um computador com muito mais satisfação do que sem este.

O professor, não necessitando de ser um especialista em informática, deve ser mais um orientador de tarefas que levem os alunos a adquirirem certos conceitos e os consiga pôr em prática, do que ser um mero transmissor de conhecimentos. Em suma, o professor deve ser a ponte entre a teoria necessária e a prática indispensável; deve ser a ligação entre o mundo virtual da informática e o mundo concreto da realidade.

Resumidamente, todos os recursos educativos que sejam considerados positivos, devem ser utilizados em benefício de uma melhor qualidade de ensino, que tenha como objectivo a formação integral da pessoa que é a razão de ser da existência da escola: o aluno. Todo o potencial da informática deve ser aproveitado pelos professores, cabendo aos mesmos gerir as melhores estratégias pedagógicas de modo que os alunos tirem o melhor aproveitamento possível da utilização dos computadores sem, no entanto, se tornarem dependentes deles.

De modo a fazer um enquadramento histórico dos sistemas inteligentes de ensino assistido por computador, iremos começar por fazer uma síntese da evolução dos computadores na prática pedagógica, dando a conhecer alguns projectos criados para a implementação das novas tecnologias na educação.

Capítulo 2

O Computador na Prática Pedagógica

A rápida evolução a que temos vindo a assistir nos domínios económico, político, científico, tecnológico e cultural impõe, necessariamente, modificações a nível da educação, ou seja, da escola. Neste sentido, a escola tem necessidade de se renovar em cada dia que passa, caso contrário corre o risco de não ser suficientemente atractiva e formativa para os jovens de hoje, com necessidades e interesses adequados à época em que vivem, que é uma época altamente tecnológica.

Fazendo uma breve retrospectiva do que tem sido o processo educativo, verificamos que a escola tem sofrido grandes modificações nos últimos anos, resultantes, em grande parte, da constante evolução da tecnologia. Basta que pensemos, como afirma Machado ([15]), em toda a evolução que ocorreu desde o modelo socrático de ensino, cujo suporte utilizado consistia unicamente na oralidade, até à actualidade em que temos como suporte do processo de ensino-aprendizagem uma grande diversidade de equipamentos tecnológicos.

Como já antes havia acontecido com o aparecimento do livro, esta mudança de suportes de comunicação provocou, e continua a provocar, alterações nas formas de ensinar e nos processos de aprender.

Foi durante as décadas de 50 e 60 que se verificaram grandes modificações a nível tecnológico, surgindo uma primeira geração de recursos audiovisuais que “apesar das suas funcionalidades rudes e primitivas (...) tinham como

objectivo facilitar a vida do professor na apresentação do conhecimento aos alunos” ([15]).

Nas décadas de 70 e 80 surgem outros equipamentos, cada vez mais sofisticados do ponto de vista técnico e, também, com potencialidades para serem utilizados em contexto educativo. Entre eles temos o computador. De todos os meios tecnológicos à disposição do professor, o microcomputador foi o que teve um dos mais importantes impactos a nível da escola, tendo desencadeado grande número de discussões, estudos e investigações. Uma das razões disso ter acontecido foi, como defende Machado, o facto de se tratar de “uma tecnologia que entrou rapidamente na escola, quase que ao mesmo tempo que na sociedade em geral” ([15]) e, também segundo o mesmo autor, porque “os programas de introdução da informática na escola visaram pôr os microcomputadores nas mãos dos alunos”, deixando assim de ser apenas um meio que o professor utiliza para transmitir o conhecimento. O computador tem um papel importante na modificação de atitudes dos professores, em especial, no que se refere à transição dos modelos de ensino centrados no professor para modelos cada vez mais centrados no aluno.

1 Diferentes Usos do Computador

O uso da informática na educação teve início com as *máquinas de ensinar*. Esta ideia foi usada por Sidney Pressey, professor da Universidade Estadual de Ohio, que desenvolveu na década de 20, uma máquina que permitia uma apresentação automática de testes de escolha múltipla aos alunos. Pressey apontava que o resultado imediato fornecido pela máquina, confirmando as respostas correctas e enfraquecendo as respostas erradas, apresentava um importante efeito educativo sobre a aprendizagem do conhecimento imediato por parte do aluno e permitia-lhe progredir no seu próprio ritmo.

A ideia de Pressey foi posteriormente desenvolvida por Skinner que no início de 1950, como professor da Universidade de Harvard, propôs uma *máquina de ensinar* usando o conceito de “Instrução Programada” ([40]). A instrução programada consiste em dividir a matéria a ser ensinada em pequenas partes logicamente encadeadas, denominadas por módulos. Cada conceito é apresentado em módulos sequenciais e cada módulo, por sua vez, termina com uma

questão que o aluno deve responder, preenchendo os espaços em branco ou escolhendo a resposta entre diversas alternativas apresentadas. Se a resposta estiver certa o aluno passa para o módulo seguinte, caso contrário, o aluno ou é convidado a rever módulos anteriores ou a realizar outros módulos.

Ao longo dos tempos, o computador foi utilizado de diferentes formas, todas elas com as suas próprias características. Apresentemos, de seguida, essas diferentes modalidades, suas vantagens e desvantagens.

1.1 O Computador no Processo Ensino-Aprendizagem

A introdução do computador na educação provocou uma verdadeira revolução na concepção tradicional de ensino e de aprendizagem. A quantidade de programas educacionais e as diferentes modalidades de uso do computador mostram que esta tecnologia pode ser bastante útil como ferramenta no processo de ensino-aprendizagem. Inicialmente, o computador foi usado para tentar imitar a actividade da sala de aula mas, à medida que este uso se dissemina, vão-se desenvolvendo outros, também aplicados à educação.

Assim, durante os anos 60, diversos programas de ensino foram implementados no computador. Surgia então o ensino assistido por computador ou “Computer-Aided Instruction”, conhecida como CAI. A disseminação dos CAI nas escolas acontece somente com os microcomputadores. Isto permitiu uma grande produção e uma diversificação de tipos de CAI, como tutoriais, programas de demonstração, exercício-e-prática, avaliação da aprendizagem, jogos educacionais e simulação.

Além da diversidade de CAIs, a ideia de ensino pelo computador permitiu a elaboração de outras abordagens, onde o computador é usado como ferramenta no auxílio de resolução de problemas, na produção de textos, na manipulação de dados e no controle de processos em tempo real. O computador passa a ser uma ferramenta educacional disponível para melhorar a qualidade do ensino.

Actualmente, vive-se num mundo dominado pela informação e por processos que acontecem de forma acelerada. Os alunos passam a substituir a memorização da informação pela busca e uso da informação. Essas mudanças podem ser introduzidas através do computador.

A verdadeira função educacional é de criar condições de aprendizagem e o

computador será o facilitador do processo de desenvolvimento intelectual do aluno.

1.2 O Computador como Máquina de Ensinar

De acordo com Valente ([40]), o computador como “máquina de ensinar” é caracterizado como uma versão computadorizada dos métodos tradicionais de ensino e as categorias mais comuns são os tutoriais, exercícios-e-prática, jogos e simulação.

Os programas tutoriais constituem uma versão computadorizada do que acontece na sala de aula. A vantagem destes programas consiste em apresentar a matéria com características diferentes que não são permitidas no papel, tais como animação e som. Contudo, estes sistemas apresentam algumas desvantagens. Uma delas é o facto de não requererem qualquer acção por parte do aluno. Os alunos apenas se limitam a ler textos e a responderem a perguntas de escolha múltipla. Permanece o ensino tradicional, apenas através do computador.

A tendência dos bons programas tutoriais é utilizar as técnicas de Inteligência Artificial (IA) para analisar padrões de erro, avaliar o estilo e a capacidade de aprendizagem do aluno, além de oferecer o apoio especial sobre o conceito em que o aluno está a apresentar dificuldades.

Os softwares de exercício-e-prática são utilizados para revisar a matéria vista em sala de aula, a matéria que envolve memorização e repetição. Estes programas requerem a resposta do aluno, propiciam feedback imediato, exploram as características gráficas e sonoras do computador, que normalmente são apresentadas em jogos. Apresentam como vantagem uma variedade de exercícios que o aluno pode resolver de acordo com o seu nível de conhecimento e interesse.

Os jogos educacionais apresentam uma pedagogia auto-dirigida e não uma instrução directa. Segundo defensores desta filosofia de ensino, o aluno aprende melhor quando é livre para descobrir relações por si mesmo e não ser ensinado. É a maneira considerada a mais divertida de aprender.

A simulação por sua vez, envolve a criação de modelos dinâmicos e simplificados do mundo real. Oferece ao aluno a possibilidade de desenvolver

hipóteses, testá-las, analisar resultados e aperfeiçoar os conceitos. Esta modalidade é útil na educação para o trabalho em grupo, em especial nos programas que envolvem decisões.

Com o desenvolvimento dos recursos computacionais é possível integrar textos, imagens de vídeo, som, animação, assim como a interligação da informação de forma não linear, implementando o conceito de multimédia e hipermédia. Com todos os recursos apresentados, o computador pode ser considerado um recurso educacional efectivo e uma ferramenta eficiente para promover a aprendizagem.

1.3 O Computador como Ferramenta de Ensino

Quando o computador é usado como uma ferramenta de ensino, este deixa de funcionar como um instrumento que ensina o aluno, para funcionar como uma ferramenta que ele utiliza para desenvolver uma tarefa. A aprendizagem ocorre quando o aluno executa uma tarefa que pode ser a elaboração de textos, pesquisa nas bases de dados já existentes ou até mesmo a criação de uma nova base de dados, resolução de problemas de diversos domínios do conhecimento e representação desta resolução segundo uma linguagem de programação e o controle em tempo real, como objectos que se movem no espaço ou experiências de um laboratório de física ou química ([40]).

De seguida, apresentam-se alguns exemplos dos diferentes usos do computador como ferramenta de ensino:

- *aplicativos para uso do professor e do aluno*: são os programas de processamento de texto, manipulação de base de dados, construção e transformação de gráficos, sistemas de autoria ou cálculos numéricos. Estes softwares podem ser caracterizados como uma tentativa de computadorizar o ensino tradicional;
- *resolução de problemas*: esta modalidade de uso do computador visa proporcionar um ambiente de aprendizagem baseado na resolução de problemas. Nesta modalidade, o computador adiciona uma nova dimensão - o facto do aprendiz ter que expressar a resolução do problema segundo uma linguagem de programação. Quando o aluno representa a resolução

do problema segundo um programa de computador ele tem uma descrição formal e precisa dessa resolução. Como exemplo pode-se citar a linguagem de programação Logo. O Logo é apresentado através da tartaruga que se move no espaço ou na tela como respostas aos comandos que o aluno fornece.

- *produção de música*: a representação de resoluções de problemas no computador pode ser utilizada em diferentes domínios do conhecimento, inclusive na música. Segundo esta abordagem, a aprendizagem de conceitos musicais devem ser adquiridos através do “fazer música” e não adquirir conceitos musicais.

Uma das funções do computador como ferramenta de ensino é a de transmitir a informação e, portanto, servir como um comunicador.

As possibilidades de uso do computador como ferramenta educacional está a crescer e os limites dessa expansão são desconhecidos. Cada dia surgem novas maneiras de usar o computador como um recurso para enriquecer e favorecer o processo de aprendizagem.

2 Introdução das Novas Tecnologias na Educação em Portugal

Com a evolução da tecnologia sentiu-se a necessidade de se investir em processos que não se restringissem somente à função de transmitir conhecimento, mas que estimulassem a valorização da invenção e da descoberta, desenvolvendo a criatividade e a iniciativa.

O investimento em projectos pedagógicos inovadores que recorram às tecnologias emergentes da informática contribui significativamente para o enriquecimento e a actualização do sistema educacional, causando um grande impacto ao introduzir um novo recurso para a aprendizagem: a experiência interactiva.

O desenvolvimento das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) veio trazer aos modelos tradicionais de ensino-aprendizagem um conjunto de alterações, no que diz respeito aos suportes materiais, às metodologias e até

mesmo aos modelos conceptuais da aprendizagem. O veloz incremento tecnológico imposto à área da informática, disponibiliza equipamentos mais rápidos, precisos, confiáveis e com maior capacidade de processamento, além de permitir o uso de linguagens interactivas e de processos multimédia, fornecendo aos educadores instrumentos e serviços eficientes de comunicação com os alunos e proporcionando maior liberdade e ambientes mais “acolhedores”.

As tecnologias na educação em Portugal têm sido impulsionadas por várias iniciativas de âmbito nacional, principalmente junto das escolas. Este capítulo apresenta um histórico destas iniciativas, começando com o projecto Minerva, iniciado em 1985.

2.1 Projecto MINERVA

O Projecto Minerva, cujo nome resulta das iniciais de “Meios Informáticos no Ensino: Racionalização, Valorização, Actualização”, foi um projecto do Ministério da Educação, gerido pelo Gabinete de Estudos e Planeamento (GEF) e pelo Departamento de Programação e Gestão Financeira (DEPGEF), que vigorou entre 1985 e 1994. Este trabalho constituiu a primeira iniciativa que teve expressão nacional na introdução das novas tecnologias no ensino em Portugal. Foi desenvolvido numa articulação inovadora entre instituições de ensino superior e escolas dos restantes níveis de ensino.

Focando a sua atenção na introdução das Novas Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) nas escolas do ensino não superior, os seus principais objectivos consistiam essencialmente:

- no equipamento informático das escolas;
- na formação de professores, centrada nos aspectos técnico-pedagógicos de utilização das tecnologias de informação no processo de ensino-aprendizagem;
- no desenvolvimento de software educativo, através da utilização de processadores de texto, folhas de cálculo, bases de dados, desenho assistido por computador, edição electrónica, bem como outro software educativo;
- e na promoção da investigação no âmbito da utilização das TIC nos ensinos básico e secundário.

Após a aplicação do projecto, vários relatórios foram apresentados com a divulgação dos resultados da experiência. A título de exemplo, podemos consultar o relatório de João Pedro da Ponte ([31]), defendendo que os professores estimulam com frequência o trabalho de colaboração entre pares de alunos no que respeita à utilização do computador e, que de um modo geral, os alunos aprendem com extrema facilidade os rudimentos necessários à execução dos programas, tornando-se frequente a inversão dos papéis dos alunos e dos professores na utilização do computador.

Refere ainda que, nas escolas onde os professores já incluíam na sua prática pedagógica na sala de aula uma diferenciação de espaços de trabalho, o computador era considerado, desde a sua introdução, como mais um centro de interesse com grande poder de atracção e grande versatilidade, tendo esse modelo tido grande divulgação, passando a ser o mais comum.

Deste modo, de entre várias conclusões, salienta que o projecto:

- permitiu a divulgação das tecnologias de informação nas escolas, apresentando uma visão desmistificada e acessível, como ferramentas de trabalho;
- estimulou a criação de equipas de professores e a afirmação duma cultura de projectos nas escolas;
- proporcionou o crescimento profissional dos professores que com ele mais estreitamente colaboraram (professores destacados e coordenadores de escolas);
- encorajou o desenvolvimento de práticas de projecto dentro das escolas, contribuindo fortemente para o estabelecimento de uma nova cultura pedagógica, baseada numa relação professor/aluno mais próxima e colaborativa;
- contribuiu para que os cursos de formação inicial de professores passassem a ter uma significativa componente de tecnologias de informação;
- estabeleceu novas relações entre instituições de ensino superior e escolas e entre escolas de diferentes pontos do país;

Ainda neste contexto, podemos consultar o relatório dos avaliadores externos deste projecto ([23]), que enumeram sete progressos educacionais:

- A promoção do empenhamento, exploração e energia;
- A harmonização das diferenças entre o campo e a cidade, o passado e o presente;
- A aquisição de conhecimentos sobre o mundo natural;
- A aprendizagem do trabalho em equipa;
- A assistência a alunos com necessidades especiais;
- A catalisação de um padrão de mudança mais vasto;
- A promoção da aceitação dos computadores como um instrumento de trabalho essencial no século XXI.

No âmbito da investigação do pólo do Departamento de Educação da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (DEFCUL), foi apresentado um relatório ([5]) com as seguintes averiguações:

- A utilização do computador como ferramenta de trabalho é susceptível de proporcionar contextos de aprendizagem ricos e estimulantes que promovem o envolvimento dos alunos e são propícios ao seu crescimento e desenvolvimento individual;
- Desde que a integração do computador seja planeada e executada de forma progressiva, os alunos revelam-se capazes de encarar os desafios que essas novas propostas constituem;
- O computador desempenha um papel motivador que, quando estimulado, tende a permanecer para além da fase inicial das actividades;
- embora tendam a reagir de forma positiva a propostas de trabalho envolvendo a utilização de computadores, os professores necessitam de bastante apoio por forma a sentirem-se seguros e revelarem-se autónomos na sua utilização;

- O envolvimento dos professores pode ser fortemente estimulado pelo empenho geral da escola, através dos seus órgãos de coordenação pedagógica e administrativa.

Apesar da experiência e dos resultados positivos do projecto, João Ponte afirma que muito ficou por conseguir e refere alguns aspectos deixados em aberto, que passamos a citar ([31]):

- “Não se atingiu a estabilização de um modelo para os centros de informática nas escolas, tipificando-se a sua actividade, especificando-se os recursos necessários e o pessoal de apoio e as condições necessárias para o seu funcionamento;
- A produção nacional e divulgação de software e de materiais de apoio, apesar de fortemente estimulada, continua a ser insuficiente (...);
- Para a maioria das disciplinas, não se chegaram a desenvolver modelos concretos de utilização das tecnologias de informação na sala de aula;
- No que respeita à formação inicial de professores, a integração das tecnologias de informação é ainda insuficiente em algumas instituições;
- A assimilação da experiência do projecto (...) nas estruturas de coordenação pedagógica do Ministério da Educação (Departamentos de Ensino, Estruturas Regionais, Instituto de Inovação Educacional) não chegou a ter lugar, dificultando a integração das tecnologias de informação nos currículos das diferentes disciplinas;
- Os centros de apoio local não chegaram a vingar, sendo necessário reinventar novas fórmulas de apoio aos professores.”

Ponte afirma que “o projecto Minerva criou uma dinâmica fabulosa mas foi vítima do seu gigantismo (...) teria tido mais impacto no sistema educativo se o Ministério da Educação, ao mais alto nível, estivesse atento à sua evolução, necessidades, e implicações práticas” ([31]).

2.2 Programa Nónio Século XXI

Na sequência de projectos anteriores em que se realizaram experiências relevantes de utilização educacional das TIC, foi criado por despacho do Ministro da Educação de 4 de Outubro de 1996, o programa Nónio Século XXI - Programa de Tecnologias da Informação e da Comunicação na Educação.

Terminado o projecto Minerva no início da década de 90, as profundas mudanças tecnológicas da viragem do século reclamavam a concretização de outras medidas. Reflectindo uma preocupação sobre a integração das TIC nas escolas, este programa, através de uma série de medidas, visou uma intervenção no sistema educativo, impulsionadora de novas práticas, onde o papel das TIC fosse (re)equacionado.

O programa Nónio destinou-se à produção, aplicação e utilização generalizada das tecnologias de informação e comunicação no sistema educativo, tendo em vista, nomeadamente:

- a melhoria das condições em que funciona a escola e o sucesso do processo de ensino-aprendizagem;
- a qualidade e a modernização da administração do sistema educativo;
- o desenvolvimento do mercado nacional de criação e edição de software para educação com finalidades pedagógico-didácticos e de gestão;
- a contribuição do sistema educativo para o desenvolvimento de uma sociedade de informação mais reflexiva e participada.

Este programa encontrava-se estruturado em quatro sub-programas, que contribuíam directamente para os seus objectivos específicos.

- Sub-programa I - Aplicação e Desenvolvimento das TIC no sistema educativo;
- Sub-Programa II - Formação em TIC;
- Sub-Programa III - Criação e Desenvolvimento de Software Educativo;
- Sub-Programa IV - Difusão de Informação e Cooperação Internacional.

O programa Nónio foi concebido em termos que permitissem proceder a uma cobertura gradual e sustentável das necessidades das nossas escolas no que toca às novas tecnologias de informação e comunicação, tentando privilegiar o interesse e a experiência, apostando no reforço dos meios informáticos, na formação contínua de professores, na produção de software educativo e no incentivo à participação em redes de comunicação. Visou mobilizar recursos, criar condições favoráveis e conceder incentivos, tendo sempre presente que as novas tecnologias de informação e comunicação são um instrumento com enormes potencialidades, estando em causa educar melhor numa sociedade da informação e tomar consciência de que a diversidade nos enriquece e que poderemos ser mais solidários se nos conhecermos melhor.

Seguiu uma política de lançamento de concursos nacionais para incentivar a produção de conteúdos educativos digitais e veio também apoiar a disseminação de experiências no âmbito das TIC na educação, através do financiamento de congressos e conferências em Portugal, bem como de deslocações de professores a eventos no estrangeiro. No Apêndice C o leitor pode consultar a Tabela C.1, referente aos financiamentos realizados desde 1997.

Uma das medidas tomadas pelo programa para a prossecução dos seus objectivos foi a acreditação de Centros de Competência Nónio Século XXI com projectos em áreas pedagógico/tecnológicas de carácter genérico vocacionados para áreas ou domínios específicos da vida da escola e o apoio financeiro à criação e desenvolvimento desses Centros de Competência. Os Centros de Competência acreditados funcionaram como pólos de reflexão, estudo e investigação sobre temas concretos, bem como de apoio à preparação e ao desenvolvimento dos projectos específicos apresentados pelas escolas, promovendo o envolvimento dos docentes e outros actores educativos em actividades comuns.

A título de exemplo, vamos fazer referência ao projecto do Centro de Competência da Escola Superior de Educação de Viseu (ESEV), que viu o seu projecto ser acreditado em 1997. Este projecto desenvolveu-se em torno das seguintes linhas orientadoras:

- Sensibilizar os professores do ensino básico e secundário de todas as áreas disciplinares, no sentido de adoptarem atitudes valorativas e de envolvimento na implementação de projectos inovadores relacionados com as

TIC.

- Formar professores do ensino básico e secundário de todas as áreas disciplinares na utilização das Tecnologias da Informação, na sua vertente técnica e pedagógica.
- Fomentar a utilização das TIC nas várias disciplinas curriculares, em actividades interdisciplinares e em actividades extracurriculares.
- Apoiar o desenvolvimento de pequenas aplicações educativas.

Tendo como referência os objectivos acima explicitados e uma particular preocupação em que o projecto fosse suficientemente abrangente, de modo a permitir o acompanhamento de vários tipos de projectos de escola, o Centro de Competência da ESEV, propôs as seguintes linhas de intervenção:

- Formação básica de professores;
- Acompanhamento de projectos nas escolas, envolvendo professores e alunos;
- Desenvolvimento de software educativo.

Na Tabela C.2 do Apêndice C encontram-se descritas as actividades propostas pelo centro em cada uma destas vertentes, estimando a percentagem de investimento para cada um dos três anos de duração do projecto. O leitor pode também consultar a Tabela C.3 que apresenta a organização das várias actividades que o mesmo centro se propôs a desenvolver.

2.3 Uarte - Internet na Escola

Trata-se de um programa do Ministério da Ciência e da Tecnologia, lançado em 1997, cujo principal objectivo foi o de assegurar a instalação de um computador multimédia e sua ligação à Internet na biblioteca/mediateca de cada escola do ensino básico e secundário.

Com este programa pretendia-se contribuir para uma maior igualdade e melhoria do acesso à informação, seja em CD-ROM ou através da Internet, a disponibilização de materiais produzidos pela escola e ainda como forma de

permitir às escolas a partilha e cooperação com outras escolas, com a rede da comunidade científica e outros.

2.4 Edutic

Esta unidade do Ministério da Educação foi criada no Gabinete de Informação e Avaliação do Sistema Educativo (GIASE), em Março de 2005, dando continuidade à actividade do Programa Nónio Século XXI. Foi projectada para funcionar como uma equipa multidisciplinar responsável por desenvolver, durante dois anos, as seguintes competências:

- Coordenar a rede de centros de competência existente e promover o seu alargamento para apoio e cobertura nacional dos agrupamentos de escolas, com vista a uma efectiva integração das TIC nas práticas pedagógicas;
- Dinamizar a rede de escolas ENIS (European Network of Innovative Schools), como berço de experimentação e inovação na utilização das TIC, ao nível pedagógico e organizacional;
- Promover estudos das TIC na educação;
- Promover a utilização de ambientes virtuais de aprendizagem nas escolas e a criação de conteúdos educacionais multimédia;
- Desenvolver e implementar um portal de educação nacional, em articulação com os restantes serviços do Ministério da Educação;
- Participar nas estruturas de decisão da European Schoolnet, enquanto membro efectivo, bem como nos seus projectos e iniciativas;
- Promover o intercâmbio europeu e internacional no âmbito das TIC na educação, participando, nomeadamente, em projectos europeus, em grupos de trabalho da Comissão Europeia, em projectos de cooperação com os PALOP e em redes internacionais TIC.

Em Julho de 2005, todas as competências exercidas pela Edutic foram transferidas para a “Equipa de Missão Computadores, Redes e Internet na Escola”, designada por CRIE.

2.5 CRIE

Este projecto teve como principal objectivo a instalação de computadores, redes e Internet em escolas de Portugal. Foi criado pelo Ministério da Educação a 1 de Julho de 2005 e veio substituir o projecto Edutic.

A missão do CRIE envolveu concepção, desenvolvimento, concretização e avaliação de iniciativas mobilizadoras e integradoras no domínio do uso dos computadores, redes e Internet nas escolas e nos processos de ensino-aprendizagem.

3 Introdução das Novas Tecnologias na União Europeia

Também a nível mundial foram desenvolvidos diversos programas, com o fim de promover a introdução das novas tecnologias na formação educacional. Durante os últimos anos, diversos programas da União Europeia, tais como COMETT, DELTA e Telematics Applications for Education and Training, têm suportado parte dos custos de introdução de novas tecnologias no ensino.

O projecto DEDICATED, do programa DELTA, permitiu a distribuição a nível Europeu de cursos multimédia, de alta qualidade, numa altura anterior à explosão da World Wide Web, recorrendo apenas a ISDN. Uma vez que este projecto foi considerado como um dos mais bem sucedidos dentro do programa DELTA, foi definida a sua continuação natural no projecto IDEALS, actualmente em curso.

Passamos então a descrever, sucintamente, alguns destes projectos.

3.1 COMETT

O COMETT - Programa Comunitário Europeu para a Cooperação entre as Universidades e a Indústria, respeitante à formação no âmbito da tecnologia, é um programa plurianual de apoio financeiro da Comunidade Europeia às iniciativas destinadas a promover a cooperação universidade/empresa no âmbito da formação tecnológica.

Foi introduzido em 1986 e a sua primeira fase operacional de três anos

situou-se entre 1987 e 1989. A segunda fase operacional do programa abrangeu um período de cinco anos, com início em 1 de Janeiro de 1990.

Os objectivos específicos do COMETT foram:

- A contribuição da formação tecnológica para o desenvolvimento económico e social;
- Empenhamento conjunto da universidade/indústria na formação;
- Necessidades de formação das pequenas e médias empresas;
- Oportunidades de formação iguais para homens e mulheres;
- Promover a dimensão europeia.

3.2 DEDICATED

O consórcio DEDICATED foi constituído por várias instituições, entre elas quatro portuguesas, quatro alemãs, uma francesa e três gregas. Os objectivos principais do projecto foram:

- Desenvolver e testar uma rede europeia de Centros Locais de Treino (LTCs - Local Training Centres) destinada a suportar o desenvolvimento de curricula comum, e de courseware reutilizável, independente da plataforma;
- Conceber e implementar um novo Sistema Modular de Treino (MTS - Modular Training System), que permitisse a interoperabilidade entre as diferentes plataformas dos LTCs, através de ferramentas próprias, facilitando o acesso local e remoto a cursos multimédia, modulares, por parte de alunos, autores, tutores e professores.

3.3 IDEALS

O consórcio IDEALS juntou novos parceiros aos que anteriormente tinham trabalhado no DEDICATED e obteve-se um novo consórcio mais forte e abrangente.

Como principais objectivos, o projecto IDEALS, visa a instalação flexível e a pedido de serviços telemáticos de apoio à formação e treino à distância. Utilizando vários serviços telemáticos (RDIS, Internet e satélite), pretendeu reforçar-se a rede europeia de Centros de Treino, criada inicialmente durante o projecto DEDICATED. Por outro lado, pretendeu-se melhorar o Sistema Modular de Treino (MTS), desenvolvido no projecto DEDICATED, adaptando-o aos novos desenvolvimentos tecnológicos.

Este projecto tem uma dupla vocação intervencionista: universidades e pequenas e médias empresas (PMEs). Nas universidades, com demonstradores na universidade de Coimbra, na Alemanha e na Finlândia, pretendeu-se desenvolver um curso comum sobre o tópico “Fundamentals of Computer Graphics”. Estas universidades, ligadas através da Internet ou por satélite, cooperam entre si durante o processo de construção do currículo, ficando depois o courseware disponível para as respectivas actividades lectivas.

No cenário das PMEs pretendeu-se desenvolver cursos sobre diferentes tópicos como “Parametric Design”, “Telematics Usage” e “Quality Management”. O ambiente de desenvolvimento de cursos tem um carácter semelhante ao das universidades.

3.4 Conclusão

Este capítulo procurou mostrar as diferentes modalidades de uso do computador na educação ao longo dos tempos. Abordámos o uso do computador no processo ensino-aprendizagem, como uma “máquina de ensinar” e como ferramenta de ensino. A história do desenvolvimento do software educacional mostra que os primeiros programas nesta área são versões computadorizadas do que acontece na sala de aula. Este é, de facto, um processo normal que acompanha a introdução de qualquer tecnologia na sociedade. É inicialmente desenvolvida a partir de um modelo existente, vai evoluindo e substitui-se completamente ao modelo inicial, com o qual co-existe, mas que perde em utilização. Assim, inicialmente, o computador foi usado para tentar reproduzir a actividade realizada na sala de aula.

Entretanto, as novas modalidades de uso do computador na educação apontaram para uma nova direcção: o uso desta tecnologia não como “máquina de

ensinar” mas como uma ferramenta educacional, uma ferramenta de complemento, de aperfeiçoamento e de possível mudança na qualidade do ensino. Hoje, nós vivemos num mundo dominado pela informação e por processos que ocorrem de maneira muito rápida e imperceptível. Os alunos devem ser ensinados a buscar e a usar a informação. Estas mudanças podem ser introduzidas com a presença do computador que deve propiciar as condições para que estes exercitem a capacidade de procurar e seleccionar informação, resolver problemas e aprender de forma independente.

Neste capítulo apresentámos ainda exemplos de várias iniciativas para a implementação das novas tecnologias na educação, quer em Portugal quer na União Europeia. Em geral, esses projectos tinham como objectivos a divulgação das tecnologias de informação nas escolas, a formação dos professores para a sua utilização no processo ensino-aprendizagem e o desenvolvimento de software educativo. O desenvolvimento das Tecnologias de Informação e Comunicação veio, assim, trazer uma variedade de alterações aos modelos tradicionais de ensino-aprendizagem.

Considerando a importância do uso das tecnologias no ensino, nomeadamente de sistemas inteligentes de ensino assistido por computador, aborda-se no próximo capítulo a *teoria dos autómatos* que constitui a fonte de inspiração que seleccionámos para o desenho do nosso sistema.

Capítulo 3

Autómatos

Num mundo em constante evolução tecnológica os automatismos entraram de tal forma nos nossos hábitos que muitas vezes nem damos conta de como nos facilitam a vida; estão presentes nas escadas rolantes, nas portas automáticas, nas caixas multibanco, nos elevadores, nos semáforos, no controlo da iluminação, nos edifícios inteligentes, nas linhas de montagem das fábricas e, de uma maneira geral, nas instalações onde é necessário implementar um processo de manobra, controlo, sinalização ou outro.

O interesse pelo estudo das propriedades inerentes aos sistemas de informação utilizados deu origem a uma nova área científica, chamada *teoria dos autómatos*. O autómato é, por excelência, a “máquina” responsável pelo comando dos sistemas automatizados.

A teoria de autómatos não é uma área da matemática de aplicação exclusiva às ciências da computação. Sabemos da ligação desta área de investigação com o processamento de informação ao nível do sistema nervoso humano, à análise de sistemas de informação/transmissão, à reacção do Homem perante o seu meio ambiente, à teoria de jogos, entre outras aplicações.

No entanto, existem sistemas cuja transição é descrita de modo probabilístico. Para a análise e explicação deste tipo de sistemas recorreremos aos *autómatos probabilísticos*. Os autómatos probabilísticos começaram a aparecer na literatura sob diferentes pontos de vista. Shannon e Weaver, em 1948, iniciaram o estudo dos autómatos probabilísticos motivados pela teoria da informação. Mais tarde, em 1958, Ashby apresentou uma definição, ainda que vaga, de autómato probabilístico. Porém, o verdadeiro desenvolvimento da

teoria dos autómatos probabilísticos aconteceu a partir dos anos 60 quando cientistas das diferentes partes do mundo introduziram os autómatos probabilísticos como uma generalização dos autómatos determinísticos ([25]). Os diferentes tipos de autómatos, assim como as suas diversas designações, estão relacionadas com o seu comportamento.

Como o sistema inteligente que descrevemos à frente é inspirado na noção de autómato probabilístico, decidimos incluir na tese uma pequena introdução à teoria dos autómatos. Neste capítulo dedicamo-nos ao estudo dos autómatos determinísticos, não-determinísticos e probabilísticos na sua forma finita, ou seja, autómatos em que todos os seus constituintes são finitos. Portanto, sempre que aparecer a palavra autómato no decorrer do texto esta significará invariavelmente autómato finito.

1 Autómatos

O objectivo primeiro da teoria de autómatos é descrever a dinâmica de sistemas de controle e reconhecimento de padrões. Para determinar o sistema é necessário conhecer as entradas do sistema (uma sequência de símbolos de um conjunto finito, Σ), o conjunto finito de estados, Q , e o conjunto finito de estados de saída, F . É igualmente importante conhecer o modo como estes conjuntos se relacionam, denominado *transição do sistema*. Assim, o comportamento de um autómato fica explicitado pela *função de transição*, δ , definida em $Q \times \Sigma$.

Os autómatos são usualmente representados na forma de um grafo dirigido, onde os estados do autómato são representados por círculos, sendo que os estados finais são representados por círculos duplos, e as entradas por arestas rotuladas com os símbolos que disparam a transição entre os dois estados conectados. Acontece, por vezes, que após uma entrada o autómato permanece no mesmo estado, isto é, o estado seguinte é o estado actual. Estas situações estão retratadas nas Figuras 3.1 e 3.2.

Nos autómatos surge ainda a noção de estado inicial o qual corresponde ao estado em que se encontra o autómato antes de qualquer entrada. Para distinguir no grafo, ou diagrama de estados, o estado inicial e os estados finais dos restantes estados utilizamos um círculo com uma seta a apontar para ele

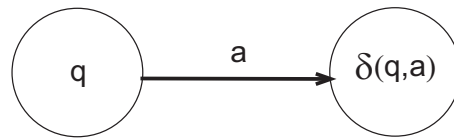


Figura 3.1: Transição para um novo estado

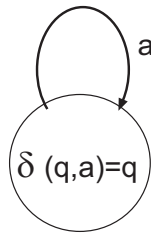


Figura 3.2: Transição para o mesmo estado

para o caso do estado inicial e círculos duplos para os estados finais, como mostra a Figura 3.3.

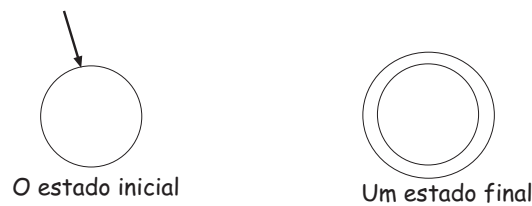


Figura 3.3: Estados inicial e final

Um dos mais simples exemplos de autómato finito é o caso de um interruptor que memoriza se está no estado “ligado” ou “desligado”, e permite que o utilizador pressione um único botão cujo efeito será diferente de acordo com o estado em que se encontra o interruptor, ou seja, se ele estiver no estado ligado passa ao estado desligado e vice-versa. A Figura 3.4 ilustra o funcionamento do interruptor.

Os estados estão representados por círculos e a entrada está representada por setas. Neste caso temos apenas dois estados, o ligado e o desligado e a única acção é pressionar o botão. O estado inicial, aquele no qual se encontra o interruptor antes de qualquer acção, está indicado pela palavra “início” e por uma seta.

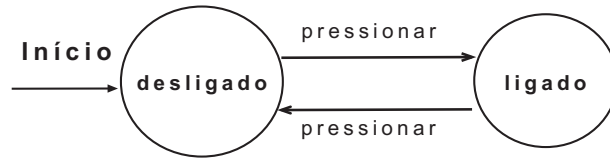


Figura 3.4: Funcionamento de um interruptor

Um exemplo um pouco mais elaborado de autômato finito é uma máquina de café, que não dá troco e aceita moedas de 5 centavos, 10 centavos e 20 centavos e devolve um café por 25 centavos. As moedas são as entradas da máquina e a máquina aceita e reconhece qualquer sequência de moedas que perfaça um total de 25 centavos. A “linguagem” aceita pela máquina de café é o seguinte conjunto de sequências de entrada:

$$\{(20, 5); (5, 20); (10, 10, 5); (10, 5, 10); (5, 10, 10); (10, 5, 5, 5); (5, 5, 5, 10); \\ (5, 10, 5, 5); (5, 5, 10, 5); (5, 5, 5, 5, 5)\},$$

onde linguagem significa o conjunto de todas as sequências de zero ou mais símbolos justapostos que se podem formar sobre um determinado alfabeto. Este conceito é fundamental na teoria da computação e também muito utilizado na teoria de autômatos e para o qual reservamos a secção seguinte.

A máquina de café tem seis estados $q_0, q_5, q_{10}, q_{15}, q_{20}, q_{25}$, (o índice de cada estado equivale ao montante recebido pela máquina). O estado q_0 corresponde ao instante em que o utilizador começa a introduzir as moedas, é o chamado *estado inicial*; o estado q_{25} representa o momento em que a máquina devolve o café ao utilizador, é o chamado *estado final*.

Na Figura 3.5 encontra-se ilustrada uma parte do funcionamento da máquina de café. Como o leitor pode constatar, cada sequência de entrada irá corresponder a um percurso entre o estado inicial, q_0 , e o estado final, q_{25} .

1.1 Autômatos e Linguagens Formais

Antes de definirmos linguagem sobre um alfabeto, vejamos o que se entende por alfabeto. Um *alfabeto*, Σ , é um conjunto finito de símbolos ou caracteres. Dizemos que $w = \sigma_1\sigma_2\ldots\sigma_n$ é uma *palavra* de Σ , onde $\sigma_i \in \Sigma$ e $i = 1 \ldots n$.

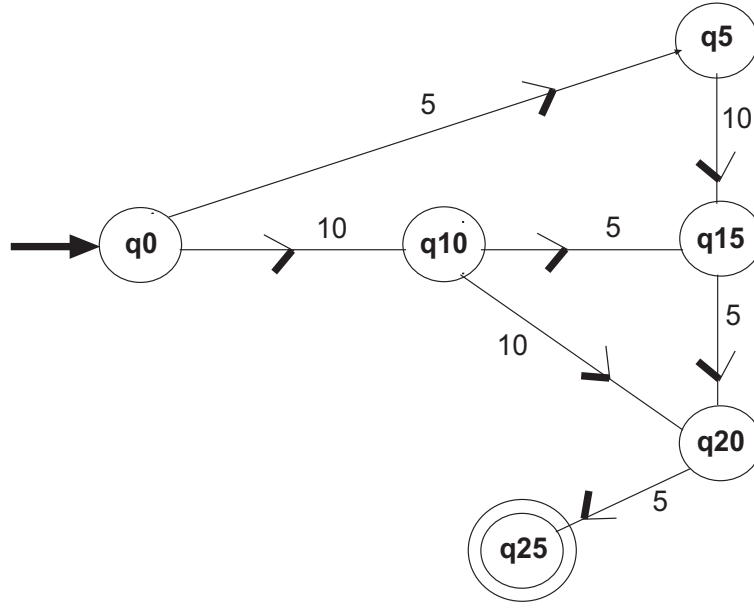


Figura 3.5: Excerto do autômato “Máquina de Café”

Chamamos *comprimento* de uma palavra ao número de elementos do alfabeto que a palavra possui. É usual considerar a *palavra vazia*, denotada por ϵ , a qual tem comprimento 0. São ainda utilizadas a notação Σ^+ que representa o conjunto de todas as palavras possíveis em Σ e $\Sigma^* = \Sigma^+ \cup \{\epsilon\}$. Uma *linguagem formal* ou simplesmente *linguagem* é um conjunto de palavras sobre um alfabeto. Diz-se que uma linguagem é reconhecível se for aceite por um autômato. A classe das linguagens reconhecíveis coincide com a classe das linguagens racionais ([10]). Estas são todas as linguagens que se podem obter a partir de conjuntos finitos usando as operações seguintes:

- (i). $A \cup B = \{w : w \in A \text{ ou } w \in B\}$;
- (ii). $A \cdot B = \{wv : w \in A, v \in B\}$;
- (iii). $A^+ = \{w_1w_2 \dots w_n : w_i \in A, n \geq 1\}$;
- (iv). $A^* = A^+ \cup \{\epsilon\}$.

1.2 Autómatos determinísticos

Um *autómato finito determinístico* é um autómato tal que, uma dada sequência de entrada determina o estado para onde o autómato transita a partir do estado inicial. A designação “determinístico” implica que existe um e somente um estado para o qual o autómato pode transitar a partir do seu estado actual, dada uma sequência de entrada. A definição formal de autómato finito determinístico é dada a seguir.

Definição 3.1. [Autómato finito determinístico]

Um *autómato finito determinístico* é um quintuplo $\langle Q, \Sigma, \delta, q_0, F \rangle$, tal que:

- (i). Q é um conjunto finito de estados;
- (ii). Σ é um conjunto finito de símbolos, ao qual chamamos *alfabeto*;
- (iii). $\delta : Q \times \Sigma \rightarrow Q$ é a *função de transição*;
- (iv). q_0 é o *estado inicial*, isto é, o estado em que se encontra o autómato antes de qualquer entrada. É claro que $q_0 \in Q$;
- (v). F é um subconjunto dos estados de Q , isto é, $F \subseteq Q$, cujos elementos são chamados *estados finais* do autómato.

Pelo facto de se tratar de um autómato determinístico, a função de transição, δ , determina univocamente o próximo estado do autómato. Assim, se o autómato se encontra no estado $q \in Q$ e lê a entrada $a \in \Sigma$, o autómato irá transitar para o estado $\delta(q, a)$. De facto, se considerarmos entradas sucessivas de símbolos de Σ em $q \in Q$, podemos estender, recursivamente, a acção δ a Σ^* da seguinte maneira:

$$\delta(q, \epsilon) = q \quad (q \in Q)$$

$$\delta(q, wa) = \delta(\delta(q, w), a) \quad (q \in Q, w \in \Sigma^*, a \in \Sigma)$$

Por vezes, e para simplificação da notação, escreve-se qw em vez de $\delta(q, w)$. Esta forma de escrita simplificada é usada no Exemplo 3.2.

Dizemos que um autômato determinístico, \mathcal{M} , *reconhece* ou *aceita* uma palavra $w \in \Sigma^+$ se $\delta(q_0, w) \in F$. A *linguagem*, $L(\mathcal{M})$, *reconhecida* pelo autômato, \mathcal{M} , é o conjunto de todas as palavras aceites pelo autômato.

Exemplo 3.2. Consideremos o autômato, \mathcal{M} , em que $Q = \{0, 1, 2, 3\}$; $\Sigma = \{a, b\}$; $q_0 = 1$ e $F = \{1, 2, 3\}$, cujo diagrama de estados se encontra na Figura 3.6.

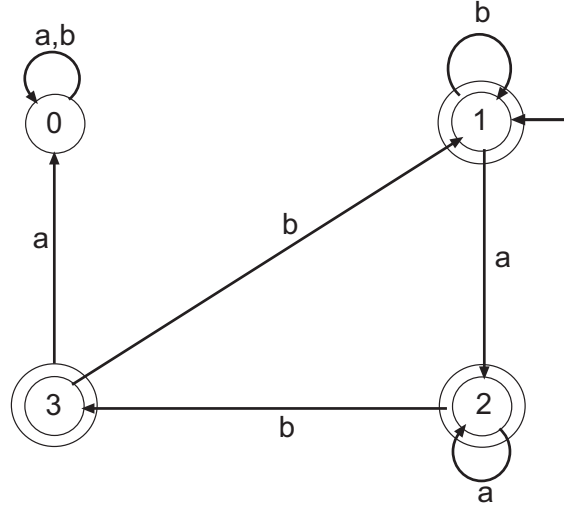


Figura 3.6: Diagrama de estados do autômato \mathcal{M}

É fácil ver que as palavras $b^2a^3b^2a^4$ e b^3a^4b são reconhecidas pelo autômato uma vez que $1(b^2a^3b^2a^4) = 2$ e $1(b^3a^4b) = 3$. Pelo contrário, a palavra $b^2a^3ba^4$ não é reconhecida por \mathcal{M} dado que $1(b^2a^3ba^4) = 0$. Observa-se facilmente que $L(\mathcal{M}) = (b^*a^+b^2) \cdot (b^* \cup b^*a^+ \cup b^*a^+b)$.

1.3 Autômatos não-determinísticos

Em oposição ao que acontece com os autômatos determinísticos, num *autômato finito não-determinístico*, dado um estado e uma entrada, este pode transitar para diversos estados. Deste modo, a função de transição de um autômato não-determinístico não determina um único estado. Em vez disso, fornece um conjunto vazio ou com um número positivo de elementos para os quais a transição pode ocorrer. Esta particularidade da função de transição está

especificada pela notação $\mathbb{P}(Q)$ que denota o conjunto das “partes” de Q , isto é, o conjunto de todos os subconjuntos de Q . Formalmente:

Definição 3.3. [Autómato finito não-determinístico]

Um *autómato finito não-determinístico* é um quintuplo $\langle Q, \Sigma, \delta, q_0, F \rangle$, tal que:

- (i). Q é um conjunto finito de estados;
- (ii). Σ é um conjunto finito de símbolos, ao qual chamamos *alfabeto*;
- (iii). $\delta : Q \times (\Sigma \cup \{\epsilon\}) \rightarrow \mathbb{P}(Q)$ é a *função de transição*;
- (iv). q_0 é o estado inicial, isto é, o estado em que se encontra o autómato antes de qualquer entrada. É claro que $q_0 \in Q$;
- (v). F é um subconjunto dos estados de Q , isto é, $F \subseteq Q$, cujos elementos são chamados *estados finais* do autómato.

Pela definição, δ aceita como argumentos $q \in Q$ e $a \in (\Sigma \cup \{\epsilon\})$ e devolve um subconjunto de Q . Formalmente, podemos definir recursivamente δ da seguinte maneira:

$$\begin{aligned}\delta(q, \epsilon) &= \{q\} \quad (q \in Q) \\ \delta(q, wa) &= \bigcup_{p \in \delta(q, w)} \delta(p, a) \quad (q \in Q, w \in \Sigma^*, a \in \Sigma)\end{aligned}$$

Do mesmo modo, e para simplificação da escrita, escreve-se qw em vez de $\delta(q, w)$. Por exemplo, se tivermos $\delta(q, a) = \{p_1, p_2, \dots, p_k\}$, entendemos que o autómato, a partir do estado actual, q , pode escolher um dos estados p_1, p_2, \dots, p_k para ser o próximo estado. No caso de $a = \epsilon$, o autómato fica no mesmo estado. Se tivermos $\delta(q, a) = \emptyset$, não há transições possíveis a partir de q com o símbolo a .

Exemplo 3.4. Consideremos o conjunto de estados $Q = \{1, 2, 3\}$ e o alfabeto $\Sigma = \{a, b\}$. Podemos definir, por meio de uma tabela, o comportamento deste autómato como se segue:

	a	b
1	$\{1, 2\}$	$\{2, 3\}$
2	1	\emptyset
3	3	$\{2, 3\}$

Designando 1 como o estado inicial do autômato e $\{2\}$ como o conjunto dos estados finais, construímos o correspondente diagrama de estados que se encontra na Figura 3.7.

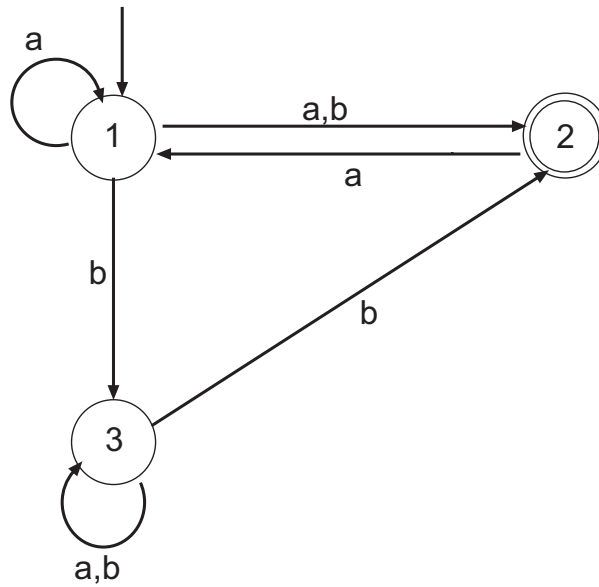


Figura 3.7: Representação gráfica do autômato

Dizemos que um autômato não determinístico, \mathcal{M} , *reconhece* uma dada palavra $w \in (\Sigma \cup \{\epsilon\})$ se $\delta(q_0, w) \cap F \neq \emptyset$. O conjunto de todas as palavras reconhecidas pelo autômato não-determinístico denomina-se por *linguagem reconhecida* pelo autômato e denota-se por $L(\mathcal{M})$.

1.4 Autômatos determinísticos e não-determinísticos

Definição 3.5. [Equivalência de Autômatos]

Sejam \mathcal{M}_1 e \mathcal{M}_2 dois quaisquer autômatos. Dizemos que \mathcal{M}_1 é *equivalente* a \mathcal{M}_2 e denotamos por $\mathcal{M}_1 \cong \mathcal{M}_2$ se e somente se $L(\mathcal{M}_1) = L(\mathcal{M}_2)$.

Teorema 3.6. *Seja $\mathcal{M} = \langle Q, \Sigma, \delta, q_0, F \rangle$ um autômato que reconhece a linguagem $L(\mathcal{M})$. Então existe um autômato determinístico, \mathcal{M}' , tal que $L(\mathcal{M}') = L(\mathcal{M})$.*

DEMONSTRAÇÃO

Defina-se \mathcal{M}' como um autômato com o mesmo alfabeto, Σ , de \mathcal{M} e cujo conjunto de estados é o conjunto de todos os subconjuntos de Q , $\mathbb{P}(Q)$. A função de transição $\psi : \mathbb{P}(Q) \times \Sigma \rightarrow \mathbb{P}(Q)$ é naturalmente definida como se segue:

$$\psi(P, a) = \bigcup_{p \in P} \delta(p, a) \quad (P \in \mathbb{P}(Q), a \in \Sigma).$$

O estado inicial de \mathcal{M}' é $\{q_0\}$ e os estados finais são os elementos do conjunto $F' = \{P \in \mathbb{P}(Q) : P \cap F \neq \emptyset\}$. Portanto, $\mathcal{M}' = \langle \mathbb{P}(Q), \Sigma, \psi, \{q_0\}, F' \rangle$ é um autômato determinístico. Para finalizar a demonstração falta apenas mostrar que $L(\mathcal{M}') = L(\mathcal{M})$.

$$\begin{aligned} w \in L(\mathcal{M}) &\Leftrightarrow \delta(q_0, w) \cap F \neq \emptyset \\ &\Leftrightarrow \psi(\{q_0\}, w) \cap F \neq \emptyset \\ &\Leftrightarrow \psi(\{q_0\}, w) \in F' \\ &\Leftrightarrow w \in L(\mathcal{M}'). \end{aligned}$$

■

Atendendo ao Teorema 3.6 e à Definição 3.5 podemos afirmar que todo o autômato é equivalente a um autômato determinístico no mesmo alfabeto.

Exemplo 3.7. Retomamos o autômato do Exemplo 3.4 cujo diagrama de estados se encontra na Figura 3.7. Vamos construir um autômato determinístico equivalente ao autômato dado seguindo os passos da demonstração do Teorema 3.6. De acordo com a demonstração do teorema os estados do novo autômato são todos os subconjuntos do conjunto dos estados do autômato de base. Assim o conjunto dos estados do novo autômato será constituído pelos $2^3 = 8$ elementos seguintes: $\{\{\}, \{1\}, \{2\}, \{3\}, \{1, 2\}, \{1, 3\}, \{2, 3\}, \{1, 2, 3\}\}$. O estado inicial é $\{1\}$ e os estados finais são: $\{2\}$, $\{1, 2\}$, $\{2, 3\}$ e $\{1, 2, 3\}$.

Atendendo à definição dada para a função de transição deste novo autómato podemos traduzir o comportamento deste através da próxima tabela.

	$\{\}$	$\{1\}$	$\{2\}$	$\{3\}$	$\{1,2\}$	$\{1,3\}$	$\{2,3\}$	$\{1,2,3\}$
a	$\{\}$	$\{1,2\}$	$\{1\}$	$\{3\}$	$\{1,2\}$	$\{1,2,3\}$	$\{1,3\}$	$\{1,2,3\}$
b	$\{\}$	$\{2,3\}$	$\{\}$	$\{2,3\}$	$\{2,3\}$	$\{2,3\}$	$\{2,3\}$	$\{2,3\}$

A ilustração do comportamento do autómato determinístico construído, por meio de um diagrama de estados, encontra-se na Figura 3.8.

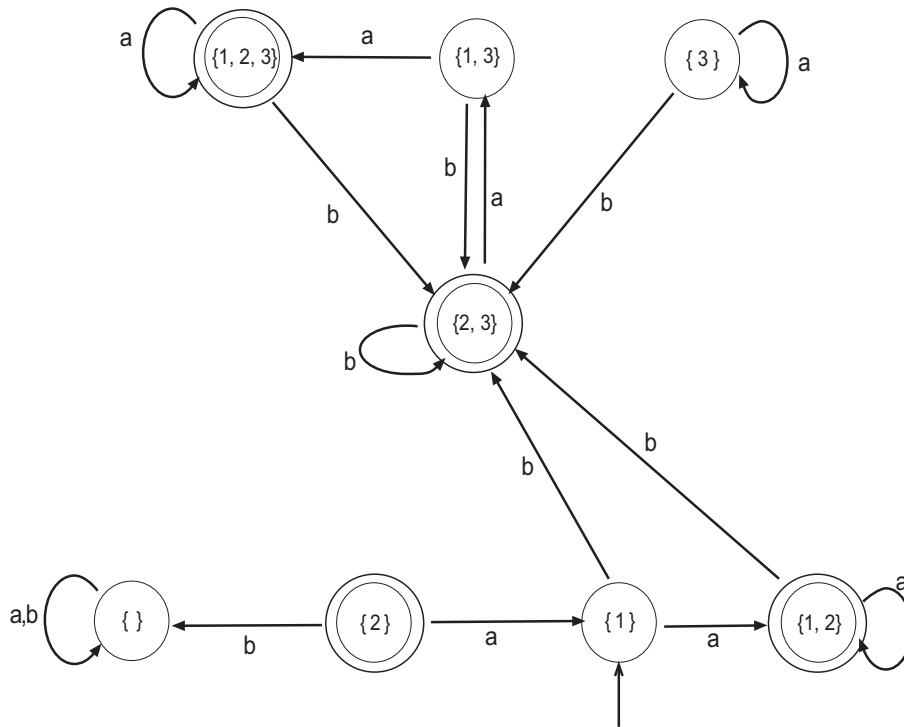


Figura 3.8: Representação gráfica do autómato

Como se observa este autómato é determinístico mas tem um diagrama de estados com um aspecto mais complicado que o anterior. Se repararmos, os estados $\{\}$, $\{2\}$ e $\{3\}$ não são atingidos, isto é, não são acessíveis. Dado um autómato determinístico $\mathcal{M} = \langle Q, \Sigma, \delta, q_0, F \rangle$, dizemos que um estado $q \in Q$ é *acessível* se existir $w \in \Sigma^*$ de forma que $\delta(q_0, w) = q$. No caso de todos os estados do autómato serem acessíveis, o autómato diz-se *acessível*.

Retirando os mencionados estados inacessíveis do autómato em causa, o correspondente diagrama de estados é apresentado como mostra a Figura 3.9.

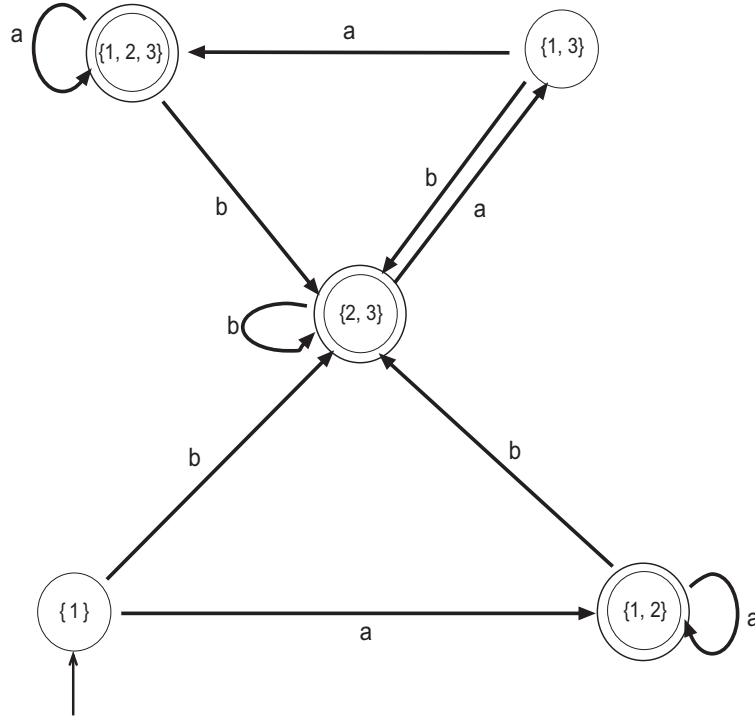


Figura 3.9: Diagrama de estados do autômato

1.5 Operações com autômatos finitos

No que se segue consideramos os autômatos finitos e não-determinísticos $\mathcal{M} = \langle \Sigma, q_0, Q, F, \delta \rangle$ e $\mathcal{M}' = \langle \Sigma, q'_0, Q', F', \delta' \rangle$, tais que $Q \cap Q' = \emptyset$. Estes dois autômatos aceitam as linguagens $L(\mathcal{M})$ e $L(\mathcal{M}')$, respectivamente.

- Conexão em paralelo

A operação de conexão em paralelo entre autômatos está intimamente ligada à operação união entre as correspondentes linguagens dos autômatos. Daí que o autômato \mathcal{M}_u , resultante da conexão em paralelo dos autômatos \mathcal{M} e \mathcal{M}' , vai aceitar a linguagem $L(\mathcal{M}) \cup L(\mathcal{M}')$. Logo, o autômato \mathcal{M}_u aceita $w \in \Sigma^*$ se w for aceite por \mathcal{M} ou por \mathcal{M}' . Como assumimos que os autômatos são não-determinísticos, o autômato \mathcal{M}_u é também não-determinístico e, ao receber a entrada w começa por escolher qual dos autômatos, \mathcal{M} ou \mathcal{M}' , vai simular. De seguida, executa o autômato escolhido, desde que w seja aceite pelo autômato eleito. Para tal é necessário criar um estado inicial, i , de \mathcal{M}_u , responsável pela transição para um

dos estados iniciais, q_0 ou q'_0 . No entanto, é importante que após esta transição inicial, a entrada do autômato continue a ser w , daí que este novo estado i de \mathcal{M}_u assume, simultaneamente, as funções de q_0 , se \mathcal{M} foi escolhido ou de q'_0 , caso \mathcal{M}' tenha sido eleito. Para exemplificar, se \mathcal{M}_u escolheu simular \mathcal{M}' , então i realiza a transição com a entrada w como se fosse \mathcal{M}' com essa entrada. A Figura 3.10 ilustra o que foi descrito.

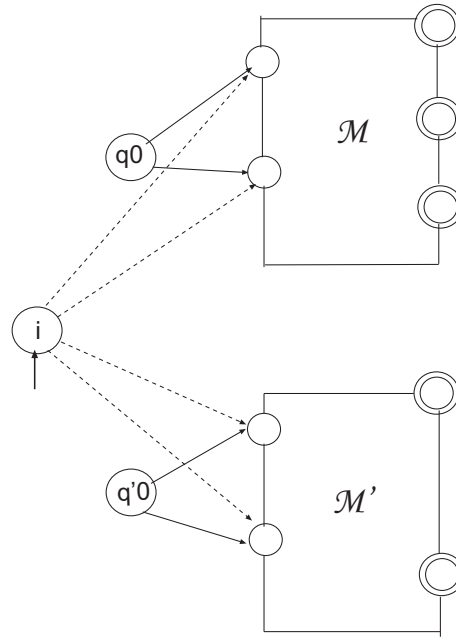


Figura 3.10:

A nova transição inicial está representada a tracejado para diferenciar das restantes transições. Como se observa, os estados de \mathcal{M}_u são os mesmos de \mathcal{M} e \mathcal{M}' , acrescentando-se i . No que diz respeito aos estados finais, estes são a união dos estados finais de \mathcal{M} e \mathcal{M}' , ou seja, $F \cup F'$, desde que $q_0 \notin F$ ou $q'_0 \notin F'$. Se $q_0 \in F$ ou $q'_0 \in F'$, temos que impor que i seja estado final e, conseqüentemente, \mathcal{M}_u aceita ϵ . Formalmente,

$$\mathcal{M}_u = \langle \Sigma, i, Q_u, F_u, \delta_u \rangle$$

onde:

$$Q_u = i \cup Q \cup Q';$$

$$F_u = \begin{cases} \{i\} \cup F \cup F' & \text{se } q_0 \in F \text{ ou } q'_0 \in F' \\ F \cup F' & \text{se } q_0 \notin F \text{ e } q'_0 \notin F' \end{cases};$$

$$\delta_u(q, \sigma) = \begin{cases} \delta(q_0, \sigma) \cup \delta'(q'_0, \sigma) & \text{se } q = i \\ \delta(q, \sigma) & \text{se } q \in Q \\ \delta'(q, \sigma) & \text{se } q \in Q' \end{cases}.$$

Exemplo 3.8. A conexão em paralelo dos autómatos \mathcal{M} e \mathcal{M}' cujos diagramas de estados se encontram nas Figuras 3.11 e 3.12, respectivamente, encontra-se representado na Figura 3.13.

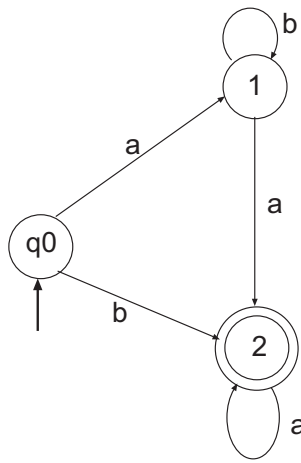


Figura 3.11: Diagrama de estados do autômato \mathcal{M}

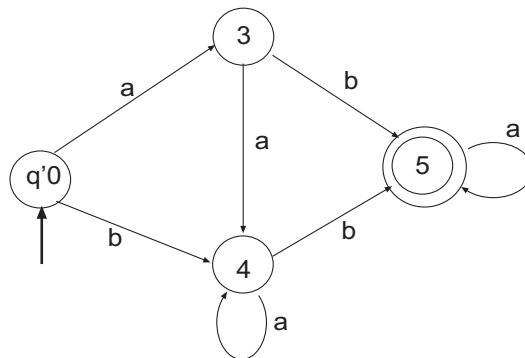


Figura 3.12: Diagrama de estados do autômato \mathcal{M}'

O novo autômato foi construído tendo em conta a explicação teórica dada anteriormente.

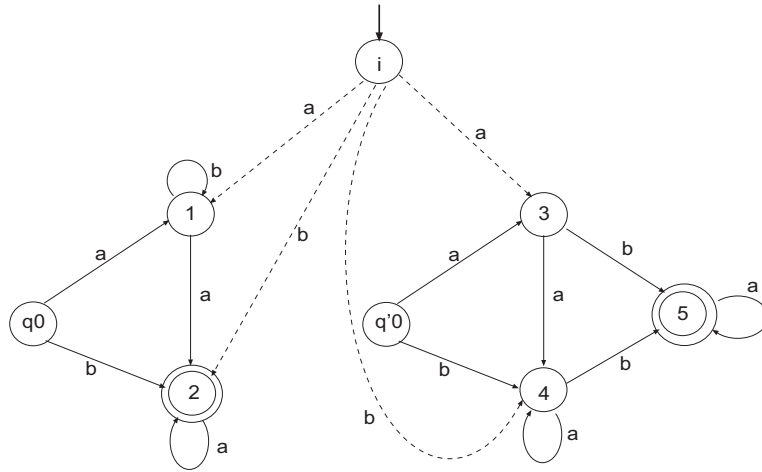


Figura 3.13: Conexão em paralelo dos autômatos \mathcal{M} e \mathcal{M}'

- Conexão em série

Esta operação entre autômatos está relacionada com a operação concatenação entre as respectivas linguagens. Tencionamos construir um autômato \mathcal{M}_c , resultante da conexão em série dos autômatos \mathcal{M} e \mathcal{M}' que aceite a linguagem $L(\mathcal{M}) \cdot L(\mathcal{M}')$. Dada uma palavra $w \in \Sigma^*$, o autômato \mathcal{M}_c aceita w se esta for composta por uma sequência inicial, chamada *prefixo*, aceite por \mathcal{M} e uma sequencial final, designada por *sufixo*, aceite por \mathcal{M}' . Esta ideia sugere que os autômatos \mathcal{M} e \mathcal{M}' sejam conectados um a seguir ao outro, isto é, em linha, apontando para um comportamento de \mathcal{M}_c igual a \mathcal{M} enquanto não atingir um estado final deste autômato. Posteriormente “imita” o comportamento de \mathcal{M}' até chegar a um seu estado final, caso o estado inicial de \mathcal{M}' não seja estado final de \mathcal{M}_c . Como não é possível estabelecer uma transição directa entre o estado final de \mathcal{M} e o estado inicial de \mathcal{M}' , uma vez que os autômatos só transitam se houver entrada, torna-se necessário definir uma transição entre o estado final de \mathcal{M} e os sucessores do estado inicial de \mathcal{M}' . A situação encontra-se representada na Figura 3.14.

Os estados finais de \mathcal{M} podem ser estados finais de \mathcal{M}_c . Mas tal só acontece se q'_0 for estado final de \mathcal{M}' . Caso contrário, os estados finais de \mathcal{M}_c são apenas os estados finais de \mathcal{M}' . Rigorosamente,

$$\mathcal{M}_c = \langle \Sigma, q_0, Q_c, F_c, \delta_c \rangle$$

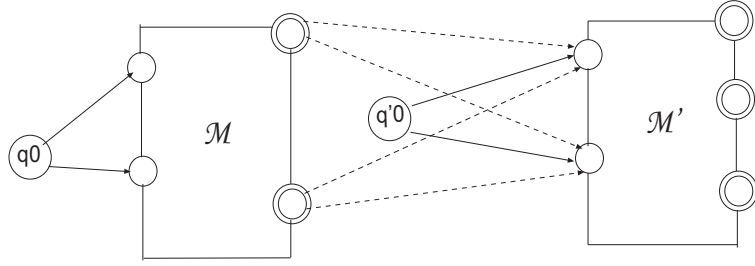


Figura 3.14:

onde:

$$Q_c = Q \cup Q';$$

$$F_c = \begin{cases} F \cup F' & \text{se } q'_0 \in F' \\ F' & \text{se } q'_0 \notin F' \end{cases};$$

$$\delta_c(q, \sigma) = \begin{cases} \delta(q, \sigma) & \text{se } q \in Q \setminus F \\ \delta(q, \sigma) \cup \delta'(q'_0, \sigma) & \text{se } q \in F \\ \delta'(q, \sigma) & \text{se } q \in Q' \end{cases}.$$

Exemplo 3.9. A conexão em série dos autômatos \mathcal{M} e \mathcal{M}' cujos diagramas de estados se encontram nas Figuras 3.11 e 3.12, respectivamente, encontra-se representada na Figura 3.15. Novamente, o novo autômato é aplicação prática da teoria explicitada.

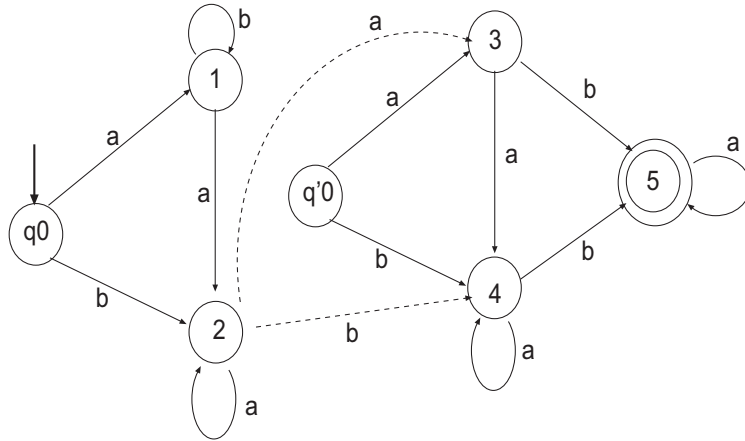


Figura 3.15: Conexão em série dos autômatos \mathcal{M} e \mathcal{M}'

- Fecho de Kleene

Uma outra operação entre autómatos finitos é a concatenação de um autômato com ele próprio. O objectivo é construir um autômato \mathcal{M}_K , fruto da concatenação de \mathcal{M} consigo mesmo, de tal modo que \mathcal{M}_K aceite a linguagem $L(\mathcal{M})^*$. A linguagem $L(\mathcal{M})^*$ é chamada o *fecho de Kleene* de $L(\mathcal{M})$, formalmente definida por $L(\mathcal{M})^* = \bigcup_{n=0}^{\infty} L(\mathcal{M})^n$, onde $L(\mathcal{M})^0 = \{\epsilon\}$ e $L(\mathcal{M})^n = L(\mathcal{M})^{n-1} \cdot L(\mathcal{M})$.

A ideia mais imediata e intuitiva é construir o autômato \mathcal{M}_K conectando os seus estados finais com os seus estados iniciais. À semelhança do que aconteceu com a conexão em paralelo, há a necessidade de criarmos um novo estado inicial que faça a transição para os estados sucessores de q_0 e que seja final por forma a garantir a aceitação de ϵ . A ilustração do comportamento de \mathcal{M}_K encontra-se na Figura 3.16. Mais uma vez, as novas transições encontram-se a tracejado.

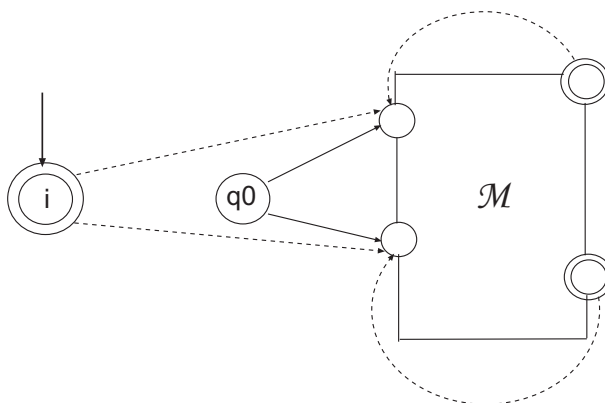


Figura 3.16:

De um modo mais formal,

$$\mathcal{M}_K = \langle \Sigma, i, Q_K, F_K, \delta_K \rangle$$

onde:

$$Q_K = \{i\} \cup Q;$$

$$F_K = \{i\} \cup F;$$

$$\delta_K(q, \sigma) = \begin{cases} \delta(q_0, \sigma) & \text{se } q = i \\ \delta(q, \sigma) & \text{se } q \in Q \setminus F \\ \delta(q, \sigma) \cup \delta(q_0, \sigma) & \text{se } q \in F \end{cases}$$

Exemplo 3.10. Apresentamos na Figura 3.17 o fecho de Kleene do autómato \mathcal{M} da Figura 3.11.

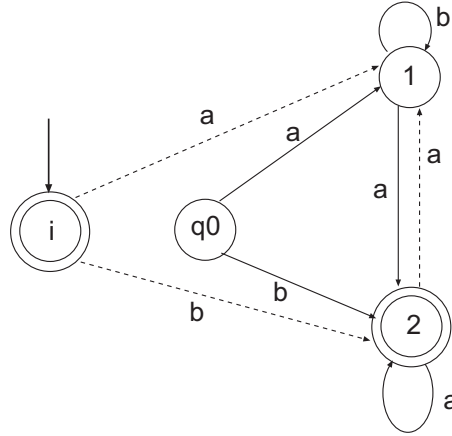


Figura 3.17: Fecho de Kleene do autómato \mathcal{M}

Os termos conexão em paralelo e conexão em série utilizados para nomear as operações entre autómatos são propositadamente empregues para estreitar a ligação que existe entre autómatos e circuitos eléctricos. No caso da conexão em paralelo, a entrada activa simultaneamente os dois circuitos. Na conexão em série, a entrada activa primeiro um dos circuitos e depois continua a activar o outro. No que diz respeito ao último caso, trata-se da conexão do circuito com ele próprio, onde a saída é total ou parcialmente utilizada como entrada. É vulgarmente conhecido como sistema de retro alimentação usado nos mecanismos de auto controle.

2 Autómatos Probabilísticos

Na secção anterior falamos de autómatos em que o próximo estado é determinado única e exclusivamente pela função de transição, δ . Porém, existem autómatos nos quais o próximo estado é determinado de forma probabilística. Este tipo de autómatos são denominados *autómatos probabilísticos*.

Os autómatos probabilísticos podem representar acontecimentos simples, como por exemplo, o lançamento de uma moeda equilibrada, em que existe igual probabilidade de sair cara ou coroa, ou o lançamento de uma moeda não equilibrada em que a probabilidade de sair cada uma das faces é diferente. A ilustração destas duas situações encontra-se na Figura 3.18. Cada estado está representado por um nó no grafo, onde o *estado inicial* é representado por i . Cada seta tem a si associada a probabilidade de transição de um estado para outro.

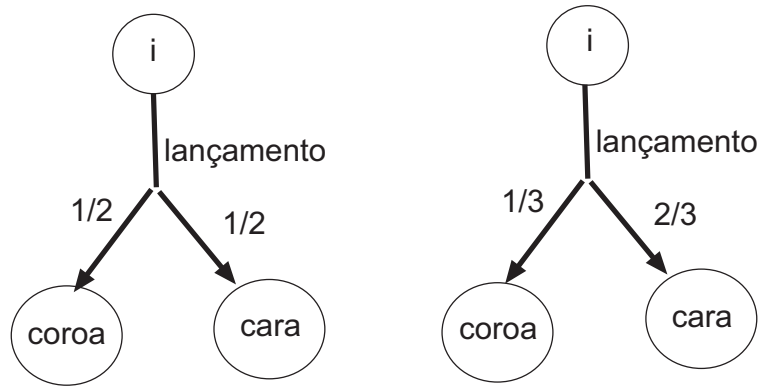


Figura 3.18:

A definição formal de autómato probabilístico é dada a seguir.

Definição 3.11. [Autómato Probabilístico]

Um *autómato probabilístico* \mathcal{M}_p é um quintuplo $\langle \Sigma, Q, H, q_0, F \rangle$, tal que:

- $\Sigma = \{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_{|\Sigma|}\}$ é um conjunto finito de símbolos, denominado por alfabeto de entrada;
- $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$ é um conjunto finito de estados do autómato;
- H é uma aplicação de Σ no conjunto das matrizes estocásticas quadradas $n \times n$. Dado $a_m \in \Sigma$, $H(a_m) = [p_{ij}]$, onde $p_{ij} \geq 0$ é a probabilidade do autómato transitar do estado q_i para o estado q_j sob a entrada a_m , de tal forma que $\sum_{j=1}^n p_{ij} = 1$, para todo $i = 1, \dots, n$. Mais, a aplicação H pode ser estendida a Σ^* da seguinte maneira:

- (i). $H(\epsilon) = I_n$, onde I_n é a matriz identidade $n \times n$;

$$(ii). H(a_{m_1}, a_{m_2}, \dots, a_{m_k}) = H(a_{m_1})H(a_{m_2}) \cdots H(a_{m_k}), \text{ com } k \geq 2 \text{ e } a_{m_j} \in \Sigma, \text{ para todo } j = 1, \dots, k.$$

- $q_0 \in Q$ é o estado inicial do autómato;
- $F \subseteq Q$ é o conjunto dos estados finais do autómato.

Na Figura 3.19 encontra-se um exemplo de um autómato probabilístico. À semelhança do que acontecia com os autómatos, podemos também falar de *autómatos probabilísticos determinísticos* e *autómatos probabilísticos não-determinísticos*. A única diferença que existe entre estes dois tipos de autómatos probabilísticos reside no facto de nos autómatos probabilísticos do tipo determinístico, dado um estado actual e uma entrada, existe um único estado para o qual o autómato pode transitar. No caso dos autómatos probabilísticos do tipo não-determinístico, dado um estado actual e uma entrada, existe um conjunto de estados para o qual o autómato pode transitar. Atendendo à definição de autómato probabilístico dada anteriormente, é fácil verificar que no caso dos autómatos probabilísticos determinísticos, em cada linha da matriz H apenas existe um valor não nulo. Pelo contrário, cada linha da matriz H dos autómatos probabilísticos não-determinísticos pode ter mais do que um valor diferente de zero. Observando o autómato da Figura 3.19 é fácil concluir que se trata de um exemplo de um autómato probabilístico determinístico, dado que, para cada entrada do alfabeto apenas existe uma saída a partir do estado actual do autómato.

Cada estado do autómato é representado por um nó do grafo e as setas que saem de cada estado são etiquetadas ou diferenciadas de acordo com os símbolos do alfabeto do autómato. Os estados têm a eles associado um vector de probabilidades, cujas componentes correspondem à probabilidade do próximo símbolo, para cada um dos símbolos do alfabeto.

No caso da Figura 3.19, o alfabeto, Σ , é unicamente formado pelos símbolos 0 e 1. Os estados do autómato, Q , é o conjunto $\{i, 0, 1, 00, 01, 10, 11\}$. Por exemplo, o estado 10 é resultado da seguinte sequência de símbolos: 1 como o primeiro valor e 0 como o último valor. Como se pode verificar, cada estado tem a si associado um vector de probabilidades. Tomando o estado 10, observamos que este tem a ele associado o vector de probabilidades $(0, 25; 0, 75)$, o que

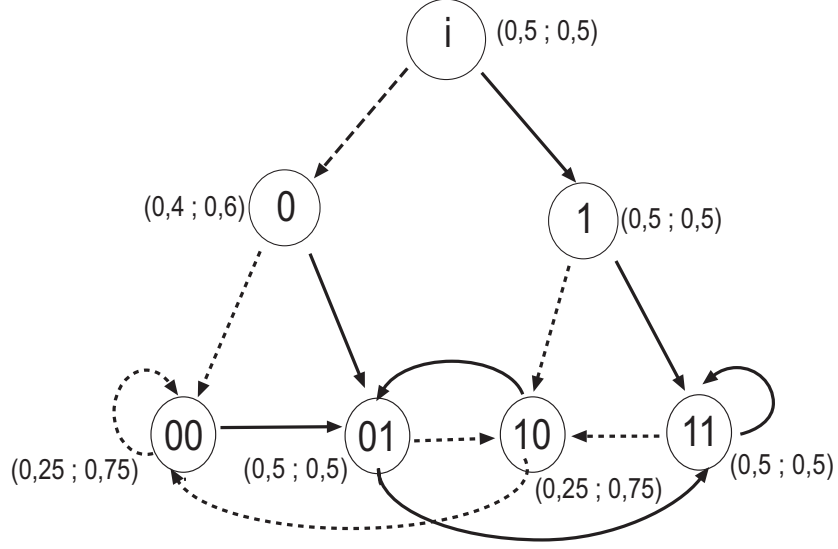


Figura 3.19: Exemplo de um autômato probabilístico determinístico.

significa que 0 pode ser o próximo símbolo a aparecer com probabilidade de 0,25 e o símbolo 1 tem probabilidade 0,75 de ser o próximo a surgir. As setas contínuas representam as transições correspondentes ao símbolo 1 e as setas descontínuas as transições do símbolo 0. Se, por exemplo, o autômato se encontra no estado 10 e o próximo símbolo é o 0, então o próximo estado é o 00; mas se o próximo símbolo é o 1, o próximo estado é o 11.

2.1 Linguagem aceite por um autômato probabilístico

A linguagem aceite por um autômato probabilístico, \mathcal{M}_p , é a linguagem $\mathcal{L}(\mathcal{M}_p) = \{(w; p(w)) : w \in \Sigma^*, p(w) = \pi_0 H(w) \pi_F > 0\}$, onde π_0 é um vector linha n -dimensional, cuja i -ésima componente é igual a 1 se $q_i = q_0$ e 0 caso contrário; π_F é um vector coluna n -dimensional cuja j -ésima componente é igual a 1 se $q_j \in F$ e 0 caso contrário.

Por vezes define-se no autômato probabilístico um limite inferior λ (probabilidade mínima exigida para que se considere uma palavra aceite), $0 \leq \lambda \leq 1$. A linguagem aceite para este autômato probabilístico é $\mathcal{L}(\mathcal{M}_p, \lambda) = \{(w; p(w)) : w \in \Sigma^*, p(w) = \pi_0 H(w) \pi_F > \lambda\}$, onde π_0 e π_F são os vectores definidos anteriormente [34].

2.2 Autómatos Probabilísticos e Redes Neurais

Com a evolução crescente da tecnologia, tem sido desejo do Homem a criação de máquinas que possam operar independentemente do controle humano.

A primeira tentativa de construção de uma máquina inspirada no cérebro humano surgiu em 1943, aparecendo assim a denominada *Neuro Computação*.

As redes neurais artificiais (RNA) constituem um método para solucionar problemas de inteligência artificial, permitindo a construção de sistemas que simulem o cérebro humano. São técnicas computacionais que apresentam um modelo inspirado na estrutura neuronal dos organismos inteligentes.

As redes neurais podem ser entendidas como um grafo, cujos nós são chamados *elementos de processamento* e as arestas são *conexões*, que funcionam como caminhos de condução de sinais. Estas estruturas podem ou não possuir memória local e podem conter um qualquer número de conexões de saída.

De acordo com as características específicas de cada rede neuronal, estas podem ser distribuídas por diferentes classes.

No que se segue faremos a ligação entre a classe das redes neurais com pesos, GSSW (General Single-Layer Sequential Weighted) e os autómatos probabilísticos. Este tipo de redes neurais são implementados com neurónios do tipo pRAM (probabilistic random access memory) ou com neurónios do tipo MPLN (Multi-valued Probabilistic Logic Nodes). Este último tipo de neurónios são uma extensão dos PLNs (Probabilistic Logic Nodes). O que pretendemos é referir um algoritmo que estabelece a equivalência, em termos computacionais, entre redes neurais GSSW e os autómatos probabilísticos ([34]).

A definição de autómato probabilístico usada será a que foi dada anteriormente. Porém, para simplificação, e sem perda de generalidade, os autómatos probabilísticos que iremos considerar terão, no máximo, duas setas de saída etiquetadas com o mesmo símbolo, em cada estado. Note-se que é trivialmente possível transformar um qualquer autómato probabilístico, num outro equivalente com esta propriedade. Para tal, basta introduzir estados auxiliares e introduzir transições vazias.

As redes neurais GSSW têm uma definição semelhante aos autómatos probabilísticos e como é nosso propósito estabelecer a equivalência entre es-

tas redes e os autómatos probabilísticos, vamos assumir que as redes possuem também a propriedade atrás mencionada para os autómatos, isto é, terão no máximo dois estados actuais em cada passo. Para tal, o conjunto de valores possíveis para os estados é reduzido a seis valores diferentes $\{p_1, p_2, \dots, p_6\}$, onde $p_i \in [0, 1], i = 1, \dots, 6$. Estes valores estão relacionados com o conjunto de vectores binários $\{(0); (1); (0, 0); (0, 1); (1, 0); (1, 1)\}$. A rede neuronal GSSW pode ser formalmente definida como se segue.

Definição 3.12. [Rede Neuronal GSSW]

Uma rede neuronal GSSW é um 7-uplo $N = \langle X, U, y, f, p, x_0, R \rangle$, onde:

- (i). $X = \{0, 1\}^{n_x}$ é o conjunto de estados da rede neuronal;
- (ii). $U = \{0, 1\}^{n_u}$ define o conjunto dos possíveis vectores de entrada;
- (iii). $y = [0, 1]$ é a saída da rede neuronal;
- (iv). f é a função de transição;
- (v). p é a função de transição de probabilidade;
- (vi). x_0 é o estado inicial da rede neuronal;
- (vii). $R \subseteq X$ é o conjunto dos estados aceites pela rede neuronal.

O teorema seguinte estabelece a ligação entre os autómatos probabilísticos e as redes neuronais GSSW.

Teorema 3.13. *Seja $\mathcal{M}_p = \langle \Sigma, Q, H, q_0, F \rangle$ um autómato probabilístico com limite λ . Então existe uma rede neuronal GSSW que implementa \mathcal{M}_p .*

A demonstração deste teorema fornece um procedimento para a transformação de um autómato probabilístico numa rede neuronal GSSW. A ideia essencial da prova do teorema é estabelecer uma correspondência entre cada componente do autómato probabilístico com cada um dos constituintes da rede neuronal. A prova detalhada e completa do teorema pode ser consultada em [34].

2.3 Autómatos Probabilísticos e Modelos Escondidos de Markov

Os modelos escondidos de Markov (Hidden Markov Models - HMM) foram descritos, pela primeira vez, entre o final da década de 1960 e o início da década de 1970, sendo utilizados em reconhecimento de palavras a partir dos anos 70.

Verifica-se que, nos últimos anos, os HMM têm sido amplamente aplicados em várias áreas, nomeadamente o reconhecimento de voz, a modelação de linguagens, o reconhecimento de palavras manuscritas, a verificação on-line de assinaturas, a detecção de falhas em sistemas dinâmicos, entre outras. Diz-se que o HMM é um processo duplamente estocástico, uma vez que possui um processo estocástico não visível (daí a designação de escondido), mas que pode ser observável através de um outro processo estocástico que produz uma sequência de observações visíveis. O processo estocástico escondido é formado por um conjunto de estados, conectados por transições, às quais estão associadas probabilidades. O processo estocástico visível é constituído por um conjunto de saídas ou observações, emitidas pelos estados invisíveis, de acordo com os valores da função de densidade de probabilidade ([24]).

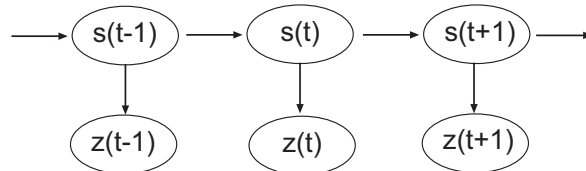


Figura 3.20: Esquema de funcionamento de um modelo escondido de Markov.

A Figura 3.20 fornece uma visão global do funcionamento de um HMM, onde cada forma oval representa uma variável aleatória. A linha de cima é composta pelas variáveis aleatórias escondidas que tomam o valor $s(t)$, no instante t . A linha de baixo é formada pelas saídas observáveis que tomam o valor $z(t)$ no instante t . O valor da variável escondida $s(t)$ depende unicamente do valor da variável escondida anterior, $s(t-1)$. A esta propriedade

chamamos *propriedade de Markov*. Analogamente, o valor da saída $z(t)$ depende exclusivamente do valor tomado pelo estado $s(t)$. De acordo com as características da função de densidade de probabilidade, os HMM's podem ser classificados em discretos, contínuos e semi-contínuos. A grande vantagem da utilização de HMM reside na sua natureza probabilística, adequada para sinais perturbados por ruídos, tal como a fala ou a escrita, assim como na sua fundamentação teórica, ao nível da existência de algoritmos eficientes no ajustamento dos parâmetros ao modelo, através de métodos iterativos ([24]).

Formalmente, um HMM pode ser definido como se segue ([6]).

Definição 3.14. [Hidden Markov Model(HMM)]

Um *modelo escondido de Markov* é um quintuplo $\mathcal{P} = \langle \Sigma, Q, A, B, \tau \rangle$, onde:

- (i). Σ é um alfabeto finito;
- (ii). Q é um conjunto finito de estados;
- (iii). $A : Q \times Q \rightarrow [0, 1]$ é a função que define a probabilidade de cada transição, de tal modo que

$$\forall q \in Q, \sum_{q' \in Q} A(q, q') = 1;$$

- (iv). $B : Q \times \Sigma \rightarrow [0, 1]$ é a função que determina a probabilidade saída de cada símbolo do alfabeto em cada estado, tal que

$$\forall q \in Q, \sum_{a \in \Sigma} B(q, a) = 1;$$

- (v). $\tau : Q \rightarrow [0, 1]$ é a função que define a probabilidade inicial para cada estado, tal que

$$\sum_{q \in Q} \tau(q) = 1.$$

Pierre Dupont ([6]) apresenta uma demonstração construtiva do seguinte:

Teorema 3.15. *HMMs são equivalentes a autómatos probabilísticos sem probabilidades finais.*

A prova apresentada é uma prova construtiva, onde Dupont mostra as seguintes implicações: $PNFA \Rightarrow HMMT \Rightarrow HMM \Rightarrow PNFA$, onde:

- (i). $PNFA$ é um autômato probabilístico não-determinístico sem probabilidades finais, isto é, um autômato probabilístico não-determinístico em que o conjunto dos estados finais do autômato é vazio;
- (ii). $HMMT$ (hidden Markov model with transition emission) é um HMM em que a aplicação B está definida da forma que se segue:

$$B : Q \times \Sigma \times Q \rightarrow [0, 1], \forall q, q' \in Q, \sum_{a \in \Sigma} B(q, a, q') = \begin{cases} 1 & \text{se } A(q, q') > 0 \\ 0 & \text{noutros casos} \end{cases}.$$

No entanto, já em 1992, Abe e Warmuth ([1]) demonstraram que qualquer HMM pode ser transformado num autômato probabilístico com o mesmo número de estados. Para tal, os autores afirmam que o conjunto de estados do HMM passa a ser o conjunto de estados do autômato; o alfabeto do HMM passa a ser o alfabeto do autômato e constroem as aplicações do autômato a partir das aplicações do HMM.

3 Aplicações e Conclusão

Tal como em qualquer outra área da matemática, a grande motivação para o crescente estudo e investigação em teoria dos autômatos são as aplicações práticas.

Os autômatos finitos são particularmente utilizados na busca de padrões, isto é, na procura de uma palavra ou conjunto de palavras num texto. Um texto é uma sequência de símbolos, como por exemplo, uma página de um livro ou uma cadeia de ADN. Este tipo de problema, aparentemente simples, tem sido alvo de grandes investigações desde 1970, com o desenvolvimento de algoritmos para a sua resolução. Muitos dos algoritmos encontrados são matematicamente suportados por resultados da teoria dos autômatos e encontram-se, actualmente, aplicados em compiladores, editores de texto e sistemas de manipulação de arquivos. A descrição mais pormenorizada de alguns algoritmos de busca de padrões pode ser encontrada em [35].

A partir de 1970 apareceram, pela mão do matemático John Conway e através dos seu jogo “Game of Life”, os *autómatos celulares*. Um *autômato celular* é uma estrutura formada por células, as quais são autómatos. Podem-se construir autómatos celulares de várias dimensões. Um autômato celular de uma dimensão é uma sequência infinita de autómatos justapostos em linha. O autômato celular de duas dimensões é formado por autómatos colocados lado a lado de forma a preencherem o plano ([44]). Este tipo de autómatos tem sido utilizado com êxito no estudo e simulação de sistemas dinâmicos e complexos na biologia e na física. Um exemplo concreto é o caso da modelação da propagação dos fogos florestais e a movimentação das nuvens, permitindo a previsão do comportamento das nuvens num curto período de tempo ou traçar a forma de propagação de uma epidemia provocada por um vírus ao longo do tempo.

Com a crescente complexidade dos circuitos e sistemas electrónicos, houve a necessidade de se desenvolver técnicas mais eficazes e menos dispendiosas para fazer face a este crescimento. Ao longo dos anos muitos problemas relacionados com a síntese, análise e optimização de circuitos sequenciais têm sido aproximados por conceitos da teoria dos autómatos. Mais ainda, tem-se verificado a importância e utilidade em usar como modelo matemático os autómatos probabilísticos ([18]). Este género de autómatos tem encontrado grande aplicabilidade a nível da biologia computacional, nomeadamente, no alinhamento de sequências biológicas, na procura de padrões nessas mesmas sequências e na análise da estrutura secundária do ácido ribonucleico, ARN ([12]). Os autómatos probabilísticos são também utilizados como meio de análise de séries temporais.

Antes de apresentarmos o nosso sistema, inspirado nos autómatos probabilísticos, vamos ter um capítulo sobre sistemas de ensino assistido por computador, onde estão mencionados alguns sistemas criados em contexto educacional.

Capítulo 4

Sistemas de Ensino Assistido por Computador

Na sua longa história os sistemas de ensino assistido por computador sofreram várias evoluções. Os sistemas actuais fornecem recursos variados, tanto para o aluno como para o professor. O aluno interage com o sistema de modo exploratório, que lhe irá permitir adquirir e construir conhecimento. O professor interage na forma de diagnóstico, com o objectivo de analisar as estratégias e capacidades do aluno na resolução de problemas.

Algumas experiências realizadas com o ensino assistido por computador (EAC) demonstram que, de um modo geral, este tipo de ensino e o ensino considerado tradicional são complementares e não antagónicos. Sendo os professores a ponte entre os dois tipos de ensino, devem conciliar as matérias tratadas de modo a não entrarem em choque e, convergindo em pontos comuns, a que a aprendizagem seja integral, útil aos alunos e também (porque não?) divertida.

A estratégia de introdução do sistema de EAC passa pela aptidão do professor, visando atender os seguintes requisitos:

- Familiarizar o professor com os conceitos de informática e o uso de computador;
- Habilitar o professor no uso do sistema de EAC;
- Expor aos professores as potencialidades do sistema de EAC;

- E, principalmente, capacitar o professor com novas técnicas de ensino e abordagem de aprendizagem oriundas da base de conhecimento do EAC.

É de extrema importância que esta tecnologia seja introduzida na escola pelo professor, que deve conhecer toda a sua potencialidade como ferramenta de apoio ao ensino.

1 Evolução dos Sistemas de Ensino Assistido por Computador

A evolução das tecnologias dos sistemas de educação pode ser dividida em várias fases. Inicialmente os CBT (Computer Based Training) utilizavam cursos baseados em computadores como complementos tutoriais através de uma modelização do conhecimento e do modo como esse conhecimento era veiculado aos alunos, colocando grande ênfase nos formalismos utilizados para representar o conhecimento, o perfil do aluno e a interface com os utilizadores. Depois os sistemas ITS (Intelligent Tutoring Systems) complementaram os sistemas CBT com modelos explícitos de ensino usados em determinados domínios do conhecimento.

Os sistemas ILS (Interactive Learning Systems), que vieram a seguir, já permitiam aos utilizadores manipular os conteúdos sob várias perspectivas. Mais recentemente os CLS (Cooperative Learning Systems) permitiam a partilha de ideias e conceitos entre alunos, facilitando a permuta e a discussão dos seus pontos de vista.

Desde o trabalho de Englebart sobre conferência assistida por computador, uma variedade de aplicações CSCW (Computer Support Cooperative Work) foram desenvolvidas e aplicadas a actividades de educação. É certo que os alunos e os professores executam tarefas em grupo, porque na sua essência o processo educativo engloba também actividades de cooperação entre professores, entre alunos e entre professores e alunos. Os sistemas CSCL (Computer Support Collaborative Learning), que suportam estas colaborações podem, neste sentido, ser considerados como um subconjunto dos sistemas CSCW.

O conceito de ambiente electrónico de comunicação e cooperação dinâmica entre agentes de educação constitui a base dos sistemas CSCL. Na perspec-

tiva destes sistemas, o conhecimento é sempre contextualizado e deve por isso evoluir com o ambiente de modo a adaptar-se às novas situações. Assim, um ambiente que promova a evolução partilhada e incremental dos conteúdos poderá contribuir para a melhoria dos sistemas de ensino à distância.

Em sistemas de ensino à distância, as interacções entre os agentes educativos podem ser síncronas ou assíncronas. As interacções síncronas podem conseguir-se por exemplo com sistemas como o IRC (Internet Relay Chat), e as interacções assíncronas podem, por exemplo, recorrer a sistemas como o Email ou o serviço de News. Encontram-se publicados vários sistemas de comunicação síncronos e assíncronos, tais como Notebook, Overview, Guider, WebWatcher, Fab, Grassroots, etc. Estes sistemas permitem comunicação de um-para-um, um-para-muitos ou mesmo de muitos-para-muitos e foram desenvolvidos no intuito de melhorar o tipo de comunicação em ambientes educativos na Web.

Existem também sistemas baseados em agentes de interface e agentes de informação, que utilizam correlações entre perfis de utilizadores ou mesmo entre o perfil dos utilizadores e a informação disponível, para filtrar e melhorar os resultados de pesquisa, aumentando os níveis de recolha e partilha de informação. Por exemplo, o BSCW (Basic Support for Co-operative Work), constitui um sistema de interface para o LiveMarks, que é um sistema de partilha de ambiente de trabalho para a Web. Este sistema, tal como outros sistemas de interface ou sistemas de recomendação podem desempenhar papéis importantes na cooperação implícita em ambientes de ensino. Outros sistemas como o Grassroots, fazem a integração no mesmo sistema de serviços dispersos e permitem a colaboração explícita entre os utilizadores, através de funcionalidades de partilha de informação.

2 Aprendizagem Colaborativa Assistida por Computador

A aprendizagem colaborativa assistida por computador (CSCL - Computer Supported Collaborative Learning) pode ser definida como uma estratégia educativa em que dois ou mais sujeitos constroem o seu conhecimento através da

discussão, da reflexão e tomada de decisões, e onde os recursos informáticos actuam como mediadores do processo de ensino-aprendizagem.

CSCL cresceu em torno de um vasto leque de investigações sobre trabalho colaborativo assistido por computador (CSCW - Computer Suported Collaborative Work). CSCW é definido como um sistema de redes de computadores que suporta grupos de trabalho com tarefas comuns, fornecendo um interface que possibilita a realização de trabalho em conjunto. Aprendizagem colaborativa é basicamente definida como um processo educativo em que grupos de alunos trabalham em conjunto tendo em vista uma finalidade comum.

O sistema CSCW está a ser utilizado principalmente no domínio empresarial, focalizando a sua atenção nas técnicas de comunicação e cuja finalidade é a de facilitar a comunicação e a produtividade do grupo. Analogamente, CSCL está a ser explorado em ambientes educativos e tem como objectivo sustentar uma eficaz aprendizagem em grupo, concentrado a sua atenção no que está a ser comunicado.

Ambos se baseiam na premissa de que os sistemas computacionais podem suportar e facilitar os processos e as dinâmicas de grupo, nomeadamente quando os utilizadores destes sistemas se encontram em locais diferentes, tendo em consideração, no entanto, que não foram concebidos para substituir na totalidade a comunicação presencial.

Os sistemas tradicionais de CSCW e CSCL foram adoptados para serem utilizados por vários indivíduos a trabalhar no mesmo local de trabalho, ou através de computadores ligados em rede. Estes sistemas suportam transferência de ideias e informação, acesso a informação e documentos, emissão de respostas em actividades de resolução de problemas. A investigação actual neste domínio abrange não somente as técnicas de groupware (tecnologia usada para agrupar as pessoas), mas também os seus aspectos sociais, psicológicos, organizacionais e de aprendizagem. O objecto principal é a aprendizagem, a aprendizagem especificamente colaborativa, e como pode ser suportada pelo computador.

O computador é visto como um recurso para a aprendizagem colaborativa, ajuda os alunos a comunicar e a colaborar em actividades comuns, fornecendo também um prestimoso auxílio nos processos de coordenação e organização de actividades. Este papel de mediador enfatiza as possibilidades de usar o

computador não somente como uma ferramenta individual, mas como um meio com o qual e através do qual os indivíduos e os grupos podem colaborar uns com os outros.

A aprendizagem colaborativa pode definir-se como um conjunto de métodos e técnicas de aprendizagem para utilização em grupos estruturados, assim como de estratégias de desenvolvimento de competências mistas (aprendizagem e desenvolvimento pessoal e social), onde cada membro do grupo é responsável, quer pela sua aprendizagem quer pela aprendizagem dos restantes elementos.

A aprendizagem colaborativa destaca a participação activa e a interacção, tanto dos alunos como dos professores. O conhecimento é visto como um constructor social e, por isso, o processo educativo é favorecido pela participação social em ambientes que propiciem a interacção, a colaboração e a avaliação. Pretende-se que os ambientes de aprendizagem colaborativos sejam ricos em possibilidades e propiciem o crescimento do grupo.

3 Teorias relacionadas com CSCL

Muitas teorias contribuem para a compreensão da aprendizagem colaborativa assistida por computador. A teoria sociocultural (baseada na inter-subjectividade e na zona de desenvolvimento proximal de Vygotsky), o construtivismo e a teoria da flexibilidade cognitiva são algumas dessas teorias, que se fundamentam na hipótese de que os indivíduos são agentes activos que intencionalmente procuram e constroem o conhecimento num contexto significativo.

3.1 Teoria Sociocultural de Vygotsky

A teoria sociocultural de Vygotsky sobre a aprendizagem enfatiza que a inteligência humana provém da nossa sociedade ou cultura, e que ocorre em primeiro lugar através da interacção com o ambiente social (ponto de vista interpessoal).

Um outro aspecto da teoria de Vygotsky é a ideia de que o potencial para o desenvolvimento cognitivo está limitado a uma determinada zona a que chamou de “zona de desenvolvimento proximal” (ZDP). Define este conceito como a distância entre o nível real e actual de conhecimentos de uma criança determi-

nado pela resolução independente de problemas e o nível de desenvolvimento potencial determinado pela resolução de problemas sob a orientação de adultos ou em colaboração com companheiros mais capacitados. “A discrepância entre a idade mental da criança e o nível que ela pode atingir resolvendo problemas com assistência de um par mais capaz, é sua zona de desenvolvimento proximal” ([14]). É fundamental considerar que a ZDP varia com a cultura, a sociedade e a experiência de cada indivíduo.

Para que uma ZDP seja criada, deve existir uma actividade conjunta que cria um contexto para a interacção entre alunos e professores. A criança desenvolve-se e aprende naturalmente desde que interaja em contextos adequados e minimamente estimulantes. Poderá, no entanto, desenvolver-se/aprender mais e melhor se for ajudada pelo professor a analisar e reflectir sobre o que fez.

Para Vygotsky, a interacção social é importante porque o professor pode modelar a solução apropriada, dar apoio estruturado na procura da solução e monitorar o progresso do aluno, tendo em vista facilitar o crescimento e a aquisição de conhecimentos cognitivos individuais.

A ZDP pode compor-se de diferentes níveis de experiência individual (alunos e professores), e podem também incluir artefactos tais como livros, programas para computadores e materiais de carácter científico, etc. A finalidade principal da ZDP é a de suportar a aprendizagem intencional. A aproximação sociocultural de Vygotsky à aprendizagem e muito em particular o conceito de ZDP podem, com sucesso, ser utilizadas no estudo da aprendizagem colaborativa assistida por computador.

3.2 Construtivismo

A teoria construtivista assenta na perspectiva de que o conhecimento que todos nós possuímos não é “sobre” o mundo, mas uma parte “constitutiva” desse mundo. O conhecimento não é um objecto fixo. Ele é construído pelo indivíduo com base na sua própria experiência desse objecto.

A aproximação do construtivismo à aprendizagem realça a necessidade de desenvolvimento de projectos estimulantes que envolvam alunos, professores, especialistas, em comunidades de aprendizagem. O seu objectivo é criar co-

munidades de aprendizagem que estejam o mais possível relacionadas com as práticas colaborativas do mundo real. Num ambiente desta natureza, os alunos assumem a responsabilidade da sua própria aprendizagem e têm de desenvolver competências metacognitivas que lhes permitam organizar e orientar a sua aprendizagem.

Quando as pessoas trabalham colaborativamente numa actividade autêntica, trazem as suas próprias estruturas e perspectivas à actividade. Podem analisar um problema de diferentes prismas e podem negociar e produzir significados e soluções com base na compreensão partilhada.

O paradigma construtivista conduz-nos a compreender como a aprendizagem pode ser facilitada através da realização de determinados tipos de atraentes actividades de construção. Este modelo de aprendizagem destaca a construção significativa (*meaning-making*) por intermédio da participação activa em contextos social, cultural, histórico e politicamente situados. Um elemento crucial da participação activa em actividades colaborativas é o diálogo nas experiências partilhadas, indispensável para suportar a negociação e a criação da significação e da compreensão.

Em suma, a contemporânea teoria construtivista da aprendizagem reconhece que os indivíduos são agentes activos que se comprometem com a construção do seu próprio conhecimento, integrando a nova informação no seu esquema mental e representando-a de uma maneira significativa. Discute-se a desvantagem de “despejar” a informação para os alunos, sem os envolver no processo de tomada de decisão e sem avaliar as suas capacidades de construir o conhecimento. É aconselhada a aprendizagem guiada, que facilita a colocação do aluno no centro do processo de aprendizagem, e fornece a orientação e o ensino concreto sempre que necessário. Estes ambientes são, no entanto, mais apropriados para domínios mais estruturados ou níveis mais elevados de aprendizagem.

3.3 Flexibilidade Cognitiva

Por flexibilidade cognitiva entende-se a capacidade de reestruturar de forma espontânea o próprio conhecimento, para responder às necessidade de situações de mudança, tanto em função da forma como se representa o conhecimento,

como dos processos que operam nas representações mentais realizadas. Esta teoria apresenta-se, por isso, como uma referência para a organização de informação em ambientes de aprendizagem pouco estruturados. A ideia de flexibilidade surge pela necessidade de formar pessoas para que possam dar resposta a situações que habitualmente têm soluções muito variadas.

Tal como a maior parte dos enfoques construtivistas da aprendizagem, a teoria da flexibilidade cognitiva dá um grande relevo à aprendizagem baseada em casos. No lugar de basear a aprendizagem num simples caso ou exemplo, é importante a existência de uma variedade de casos que ilustrem o conteúdo em questão. Quanto maior for a variedade de casos, mais ampla será a base conceptual em que se apoia. Estes casos deveriam ser autênticos, de forma a requerer o mesmo tipo de pensamento que seria exigido em contexto de vida real.

4 Sistemas de Ensino à Distância

É dentro de um contexto caracterizado pela exigência de novos métodos de disseminação de informações, através de uma maior racionalidade em termos de armazenamento, recuperação e do próprio tratamento dessas informações, que se percebe a presença de uma série de dispositivos que são utilizados como meios de comunicação pela educação à distância.

A multiplicidade dos meios de comunicação nas diversas áreas do conhecimento, produz um aumento da criticidade por parte dos educandos, uma vez que são permitidas várias observações a respeito de um mesmo assunto. É desta forma que o ensino à distância (EAD) começa a “ganhar vulto”, usando esses vários meios com o intuito de minimizar a problemática referente a questões geográficas. Por isso, ressalta-se a importância da concretização do vínculo entre as tecnologias de comunicação disponíveis e as práticas pedagógicas de uma forma interactiva. Para tanto, os professores que trabalham com EAD, devem estar preparados e abertos a pensarem de forma criativa e crítica a solidificação desse vínculo visando ao aprimoramento do processo ensino-aprendizagem à distância.

O EAD é visto como uma forma educativa inovadora, mas com muitos anos de experiência, tendo sua origem na educação por correspondência, evoluindo

com as novas tecnologias e com os novos saberes académicos, ganhando assim expressão de massa que caracteriza o mundo populoso e dinâmico em que se vive.

A educação à distância nasceu regida pela democratização do saber, e tem por objectivo gerar condições de acesso à educação àqueles que, por qualquer motivo, não estejam a ser atendidos satisfatoriamente pelos meios tradicionais de ensino, cujo processo envolve muitos saberes e técnicas ([36]). A distância é, sem dúvida, o grande desafio, mas jamais a fronteira final da educação.

O ensino à distância, como ferramenta de educação, necessita de um apoio que oriente, dirija, supervisione e avalie o processo de ensino-aprendizagem, a fim de complementar a tarefa docente que se transmite com o material didáctico, estabelecendo um contacto mais estreito com o aluno e promovendo a sua interacção com o professor. Neste ponto, a informática surge como um tónico que reforça o EAD, fortalecendo a intenção de interdisciplinariedade que se faz presente no ensino à distância. O veloz incremento tecnológico imposto à área de informática, disponibiliza equipamentos mais rápidos, precisos, confiáveis e com maior capacidade de processamento, além de permitir o uso de linguagens interactivas, de processos multimédia, fornecendo aos educadores instrumentos e serviços eficientes de comunicação com os alunos, e proporcionando maior liberdade e ambientes mais amigáveis para o manuseio de materiais auto-instrucionais.

A multimédia por exemplo, é um dos recursos educacionais que atenta para a construção do conhecimento de forma interactiva e não linear, em busca de uma visão ampla a respeito do tema em estudo. Permite ao indivíduo controlar o seu próprio ritmo de trabalho e objectivos de aprendizagem, facilitando a pesquisa de documentos através de uma “navegação” entre elementos de uma rede de informações, associando ideias e imagens de maneira mais natural. E isto tudo, através do monitoramento de um computador, só vem a acrescentar dinamicidade e instantaneidade ao processo.

Um outro meio utilizado pelo EAD na disseminação de informações é a hipermédia, que liga à tecnologia da informática os meios de comunicação de massa, o que, através de experiências interactivas, acaba por unir os princípios da psicologia da aprendizagem aumentando a qualidade do ensino, colocando o aluno em contacto com a realidade tecnológica que o cerca, atendendo aos

seus anseios e aumentando as perspectivas de conhecimento.

Aliando-se a informática ao EAD, consegue-se gerar avanços significativos nos procedimentos de treinamento independente, ou à distância, com a ajuda do computador. Esta tendência tem sido adoptada por um número cada vez maior de empresas que procuram uma redução de custos e um alto aproveitamento de informações na capacitação e actualização dos seus funcionários.

Uma das sub-áreas da computação que sofreu mudanças rápidas e significativas foi a que trata do estudo da interacção homem-computador. Não faz muito tempo que a única forma de comunicação entre o computador e o ser humano se dava através de cartões perfurados. Ao surgimento dos monitores e teclados ascendeu uma preocupação com a estruturação gráfica da informação. Hoje, as interfaces são, em sua maioria, gráficas e baseadas em objectos. Esta evolução foi acelerada pelo rápido crescimento tecnológico do computador pessoal e pelo aumento da demanda por estas máquinas. Um grande aliado para este avanço foi o crescente uso da multimédia, que qualifica aplicações que interagem com o utilizador, fazendo o uso simultâneo de diversos meios; obtendo, desta forma, uma comunicação mais interessante. Este conceito tem um grande impacto, principalmente aos utilizadores que possuem pouco conhecimento em informática, já que a sua utilização é possível em aplicações para escritórios, documentação ou projectos baseados no conceito de hipermédia, como trabalho cooperativo, teleconferência, pesquisa científica e ensino à distância.

A hipermédia torna o processo de aprendizagem uma experiência inovadora e eficaz por utilizar elementos multisensoriais de extrema importância para a aprendizagem, associando hipertexto, som, fotos, imagens animadas e inanimadas, que estimulam simultaneamente diferentes canais perceptivos do aluno, contribuindo assim para um aumento satisfatório do nível da qualidade de ensino. É considerada a forma mais completa de organizar informações em meios visuais distintos e combiná-las de modo não sequencial, conectados em rede, no qual cada nó contém um trecho de informação.

Com o surgimento da Internet, novas formas de comunicação foram estabelecidas, permitindo que pessoas de todo o mundo compartilhem ideias, informações ou simplesmente se conheçam. Esta rede mundial disponibiliza uma enorme quantidade de dados, sejam eles de propósito educacional ou não. Ferramentas como o World-Wide-Web (WWW) têm sido desenvolvidas em

grande escala para facilitar a partilha de informações em escolas, universidades e institutos de pesquisa. Muito rapidamente, o potencial educacional destas tecnologias tornou-se aparente, especialmente para a aprendizagem à distância. Para tal classe de aplicações, o WWW tem mais atractivos pela sua fundamentação de conceito em hipermédia e poder de interactividade.

Mesmo antes do WWW ter encontrado grande aceitação, a Internet já estava a ser usada para propósitos educacionais, principalmente através do correio electrónico e de páginas de discussão. Apesar de seu crescimento, o WWW é muito usado para actividades de ensino-aprendizagem, como uma força direccionadora, pois sua facilidade de uso torna a Internet trivialmente acessível para alunos com pouco ou nenhum conhecimento em computação ou programação. Algumas das suas características educacionais são:

- Capacidade de conter hipertexto/hipermédia (texto, som, vídeo) incorporados na mesma página;
- Possuir interface gráfica de fácil manipulação;
- Não está limitado a qualquer tipo de sistema operacional e/ou computador;
- A informação é distribuída globalmente através de diferentes endereços e podem ser actualizadas a qualquer momento pelo seu autor;
- Dá suporte às formas de distribuição de informação que já existem na Internet.

Uma outra aplicação que é usada na Internet é a video-conferência. Antes, a comunicação entre utilizadores era feita exclusivamente de forma textual, até surgir a ideia de se aproveitar o canal de comunicação utilizado pela Internet para transmissão de dados e transferência de arquivos, imagens e sons que são trocados pelos participantes da video-conferência. Assim, a video-conferência pode ser aplicada à educação, permitindo que salas de aula virtuais sejam criadas e que haja interactividade total entre aluno e professor, possibilitando ainda a realização de discussões, conferências e trabalhos cooperativos de pesquisa.

5 Aplicações

Nesta secção iremos apresentar alguns projectos de sistemas de ensino assistido por computador, criados em algumas universidades portuguesas e estrangeiras.

5.1 Funcionalidades Web como Complemento ao Ensino Presencial

O uso de ferramentas Web no ensino de disciplinas do ensino superior, e até mesmo do ensino básico, já começa a ser uma realidade constante. Os serviços Web permitem o suporte da disponibilização de toda a informação e material necessário para o funcionamento da disciplina, nomeadamente a apresentação dos conteúdos programáticos, o material de apoio e pedagógico, os enunciados de exercícios de apoio às aulas e de exames/testes de anos anteriores e até um fórum, onde os alunos colocam, de forma simples e rápida, todas as dúvidas que serão esclarecidas pelo professor.

A título de exemplo vamos descrever três experiências de aplicação do uso de ferramentas Web no ensino de disciplinas do Curso de Licenciatura em Engenharia Electrónica Industrial (EEI) da Universidade do Minho. As disciplinas em questão são: Métodos Numéricos, Automação e Controlo de Processos.

Métodos Numéricos foi a disciplina utilizada como teste de adesão à utilização das novas tecnologias. O binómio docente/aluno utilizado nas aulas tradicionais foi alterado para uma combinação de aulas, em que o aluno toma um papel mais participativo, permitindo um maior diálogo entre docente e aluno. Este trabalho teve início no ano lectivo 2001/2002, com a utilização dos serviços Web, como apoio desta disciplina.

As disciplinas de Automação e de Controlo de Processos disponibilizaram, para além das facilidades atrás descritas, alguns exemplos animados de acordo com a área em estudo, onde o aluno pode interagir alterando as condições iniciais e os parâmetros característicos e analisar a sua influência. A visualização de alguns exemplos práticos animados e sonorizados é o que torna a página atractiva e funcional.

Através desta página o aluno tem acesso ao programa, aos objectivos, aos

pré-requisitos, às regras de avaliação e aos horários da disciplina. O aluno pode também encontrar o suporte teórico para o estudo (a chamada “sebenta”). Encontram disponíveis algumas ligações importantes a outras páginas relacionadas com os processos de automatização, bem como exemplos e resultados de exames de anos anteriores.

O aluno pode ainda aceder a questionários de dez questões de verdadeiro e falso, que lhe permitem efectuar uma auto-avaliação. No final de cada teste é apresentada uma classificação indicativa do seu desempenho.

O projecto da disciplina de Controlo de Processos foi desenvolvido para alunos do 4º ano da licenciatura em EEI da Universidade do Minho. Nesta disciplina, para além das características já referidas atrás, foi incluída a funcionalidade de gestão da página. Os conteúdos da disciplina foram divididos em quatro capítulos principais e em cada tópico estavam presentes os pontos-chaves, que indicavam a necessidade de aprender um ponto particular e/ou que chamavam a atenção para uma característica especial, além de algumas notas. Desta forma, o aluno pode manter-se a par do que necessita saber e recordar algumas ferramentas que serão base ao estudo.

5.2 Projecto CALIOPE

Este projecto foi desenvolvido pelo Departamento de Física da Faculdade de Ciências de Lisboa e refere-se ao desenvolvimento de um instrumento de laboratório assistido por computador, orientado ao ensino da Física.

Recorrendo a metodologias estruturadas de análise de sistemas, foi desenvolvido um instrumento de medida assistido por computador, baseado numa plataforma de hardware expansível, explorada através de uma interface gráfica com o utilizador. Com base nesse instrumento, criaram um ambiente laboratorial de ensino-aprendizagem capaz de responder a diferentes níveis de ensino, do básico ao universitário introdutório.

A interface gráfica com o utilizador simula no ecrã do computador instrumentos reais. Esses “instrumentos virtuais” permitem visualizar as condições de aquisição de dados em simultâneo com uma representação gráfica dos mesmos.

Nenhum dos instrumentos de medida contém procedimentos de análise ou

de interpretação de dados. Terminada a aquisição, estes devem ser guardados e posteriormente analisados. A aquisição de dados exige do aluno tomadas de decisão, tais como: tempos de aquisição, amplitudes dos sinais a adquirir, escalas das representações gráficas e outros parâmetros de funcionamento. Além disso, a procura das melhores condições experimentais estimula a “construção” da experiência por parte do aluno, com vantagens acrescidas no processo de aprendizagem.

Um dos “instrumentos virtuais” utilizados neste projecto destina-se, por exemplo, a determinar a velocidade de passagem de um objecto. Um outro exemplo, que pode ser consultado na Figura 4.1, apresenta um painel de um instrumento utilizado na aquisição de dados referente à queda de um corpo. Uma montagem semelhante pode ser utilizada para estudar a queda de corpos em líquidos de elevada viscosidade.

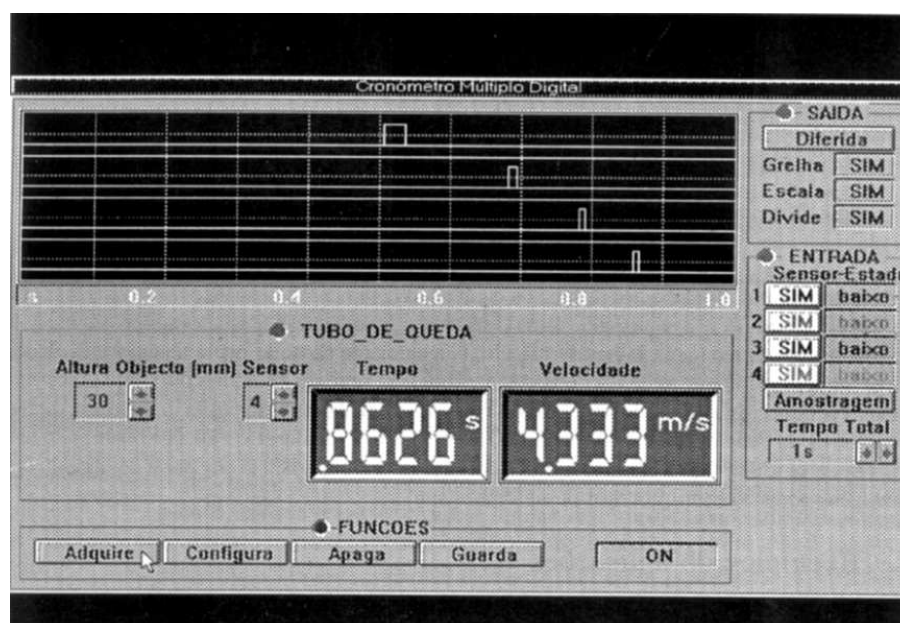


Figura 4.1: Painel de um instrumento do Projecto Caliope

Além destas aplicações, foram desenvolvidas outras experiências, como por exemplo, o estudo da variação da resistência de um fio metálico com a temperatura e que se encontram disponíveis para utilização didáctica.

5.3 Ambiente de Simulação Assistida por Computador em RCP

O projecto que se segue foi desenvolvido no Brasil, na Universidade Federal de Santa Catarina, em contexto enfermagem e descreve a produção de um ambiente simulado de aprendizagem assistida por computador em RCP (Reanimação Cárdio-Pulmonar). Neste ambiente, o aluno, participante activo do processo ensino-aprendizagem, aplica previamente o conhecimento aprendido para responder (decisões e acções) a um problema ou situação, e recebe feedback sobre as respostas, ou seja, raciocinando e decidindo mediante informações sem o stress da situação real. Desta forma, as simulações representam uma oportunidade para o aluno assumir um papel e ver as consequências das suas acções num cenário virtual com o desenvolvimento de competências reais.

Esta produção constituiu-se num ambiente tutorial no qual, de forma autónoma e construtiva, o aluno esclarece as dúvidas dos conteúdos e as acções necessárias para cada problema que o paciente apresenta; e num ambiente simulado de uma realidade de PCR (Paragem Cárdio-Respiratória) de um adulto, proporcionando ao aluno o desenvolvimento de competência de resolução de problemas.

A Figura 4.2 ilustra o quadro de entrada do programa, contendo uma breve explicação de como funciona e sua estruturação. Solicita ao aluno o registo do seu nome, permitindo que o programa realize as suas avaliações de aprendizagem de forma personalizada.

Caso o aluno tenha interesse em aprofundar as explicações do programa poderá clicar no botão “Ajuda” ou navegar pelo programa ou ainda, fazer o pré-teste, ou seja, poderá optar pelo caminho que achar mais conveniente. O recomendado é que ele faça um pré-teste para saber em que nível se encontra, contudo, tem a liberdade de ir directamente para o Módulo Tutorial ou Simulação. Poderá também sair do programa, no momento que achar mais oportuno.

O aluno pode escolher o processo de avaliação promovido pelo programa, durante a sua utilização, entre integral, formativa e/ou diagnóstica. O programa apresenta também uma pontuação de desempenho do aluno, segundo

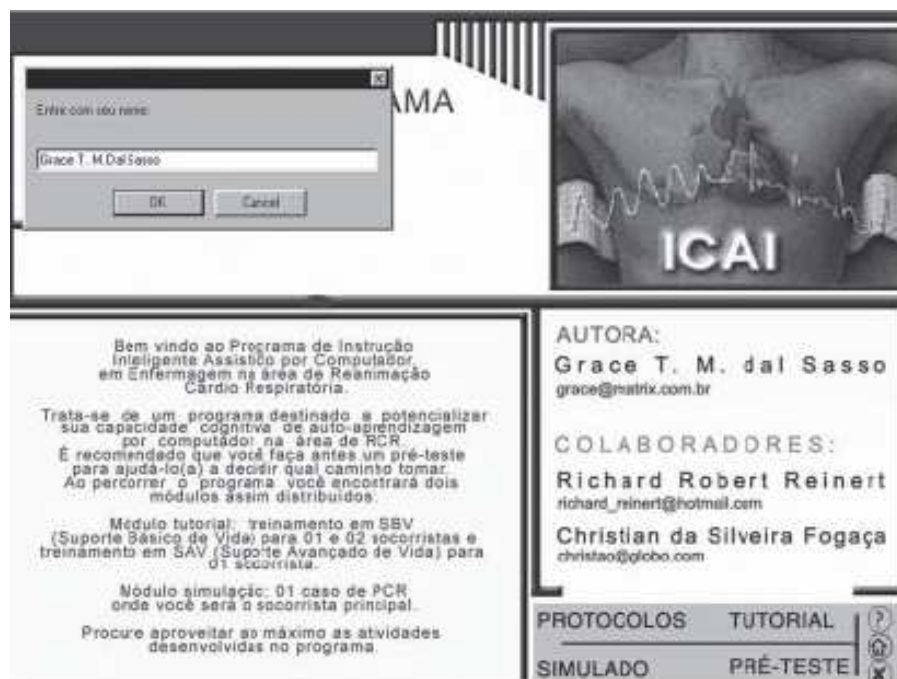


Figura 4.2: Quadro de entrada

as diferentes fases da resolução do caso e de acordo com a forma de avaliação escolhida.

A situação de PCR inicia-se com o aparecimento súbito de uma pessoa de fora da área hospitalar, aparentemente tendo um quadro de Enfarte Agudo do Miocárdio. É apresentada uma breve descrição do caso, sem detalhes clínicos (nenhuma pista é dada sobre a etiologia da condição actual do paciente). O programa tem passagem automática de tempo, desvios aleatórios (possibilitando a evolução não previsível da situação), inclusão de imagens, contendo sinais físicos e biológicos (ausência de consciência, pulso, entre outros).

De modo a forçar um papel mais activo por parte do aluno no processo de tomada de decisão e assistência directa ao paciente, utilizou-se o artifício de que o enfermeiro será o responsável por todas as condutas com o paciente, até um determinado ponto, quando então a vítima é conduzida ao hospital e recebe a continuidade da assistência pela equipa de saúde, criando assim novas oportunidades para simular a conduta de enfermagem.

Após a apresentação inicial do caso no ambiente simulado (Figura 4.3), o aluno tem que tomar uma série de decisões relativas à avaliação do estado geral

do paciente e seus parâmetros vitais e intervenções prioritárias. Dependendo da resposta do aluno, o programa estimula o aluno a alcançar o objectivo de reanimação da vítima, proporcionando, assim, uma atitude positiva frente aos desafios gerados pelo programa. O próprio aluno vai acompanhando o tempo decorrido do atendimento e os parâmetros vitais do paciente.



Figura 4.3: Quadro inicial do ambiente simulado

No ambiente simulado, o aluno não poderá deixar de concluir o caso e retroceder no programa. Uma vez iniciado, o aluno deverá ir até ao final da situação. Pode, contudo, sair da situação simulada e escolher outra opção para aprofundar o seu processo de aprendizagem, como por exemplo, o tutorial, navegar via Web e buscar ajuda.

As simulações fazem uso de todos os recursos disponíveis no programa, desde os quadros dos resultados das intervenções até aos comentários sobre cada resposta. Os textos de comentários e revisão das simulações são ricos e elucidativos, comentando aspectos básicos e clínicos da situação apresentada de PCR, com informações actualizadas. O aluno poderá repetir as situações de RCP tantas vezes quanto desejar e os resultados podem ser impressos.

Visando estimular uma atitude positiva do aluno no seu processo de ensino-aprendizagem, no módulo tutorial, o aluno consegue sempre reanimar a vítima

de PCR. Contudo, no ambiente simulado, o aluno pode experimentar tanto a reanimação da vítima por um caminho mais curto ou mais longo, dependendo da sua actuação quanto à experiência de morte do paciente.

As mensagens de erro têm uma função importante e são abordadas numa área específica da página, de modo que a atenção esteja dirigida para esta informação no ambiente simulado. Não são apenas feedbacks que explicam as respostas incorrectas do aluno em relação ao conteúdo. São apresentadas quando o aluno fez entradas inapropriadas que o computador não pôde aceitar e/ou interpretar. É então projectada uma caixa em torno das mensagens fornecidas pelo programa no módulo simulação com uma barra de rolagem (ver Figura 4.4), permitindo que o utilizador reveja os passos das suas acções, reflita sobre os seus erros e altere as suas acções.

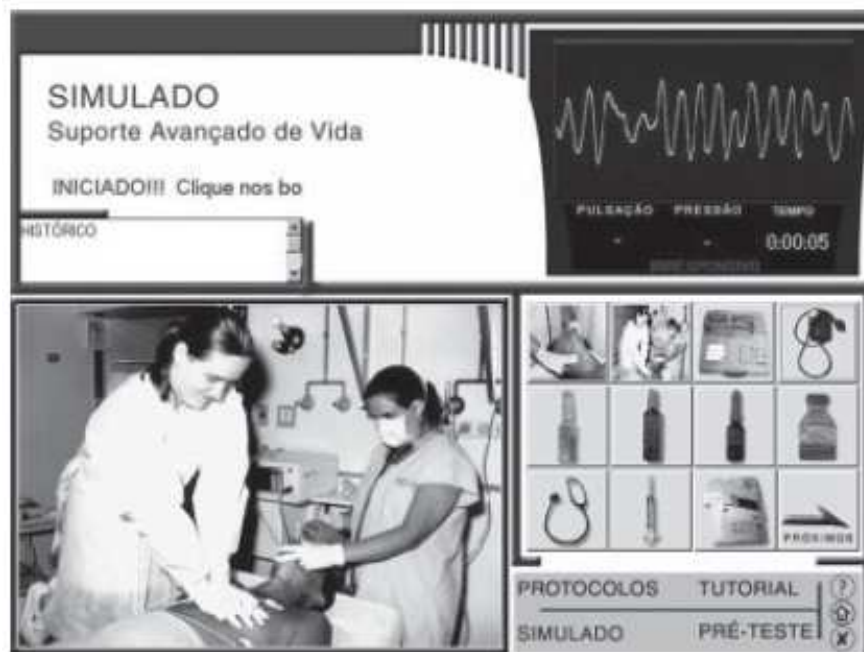


Figura 4.4: Quadro de simulação

Independentemente da escolha do aluno, caso opte, por exemplo, em não fazer a simulação, mas apenas o pré-teste, o programa fornecerá esta avaliação.

Relativamente ao pós-teste, o aluno somente o fará depois de percorrer a simulação. O objectivo deste procedimento é estimulá-lo a explorar ao máximo o que é oferecido no programa. A oportunidade de errar é fundamental no pro-

cesso de auto-aprendizagem construtiva e é algo que, por meio do computador, se pode oferecer sem causar prejuízos reais à vida do cidadão, para além de auxiliar o aluno a adquirir auto-confiança.

O ambiente de aprendizagem informatizado fornece uma percentagem de respostas certas no pré-teste e no pós-teste, o tempo que o utilizador demorou a fazer os testes e, no módulo simulação uma pontuação geral, bem como, uma descrição das sequências desenvolvidas pelo utilizador, durante o módulo simulação e das recomendações fornecidas pelo programa em cada etapa (ver Figura 4.5).

AVALIAÇÃO		OBSERVAÇÕES	
NOME	Grace		
	score(%)	tempo(min)	
PRÉ-TESTE	<input type="checkbox"/>	Não realizado!	
PÓS-TESTE	<input type="checkbox"/>	3	1
SIMULAÇÃO		Não realizado!	
GERAL		0	1

Pós-Teste ou Simulação para ob

PROTOCOLOS TUTORIAL ?

SIMULADO PRÉ-TESTE Inicia Pré-Teste

Figura 4.5: Quadro com o resumo da avaliação final

5.4 Ambiente de Aprendizagem Assistida por Computador de Álgebra Linear

O projecto que se segue diz respeito a um ambiente assistido por computador sobre Álgebra Linear, recorrendo ao sistema de computação algébrica MuPAD. MuPAD é um ambiente freeware, desenvolvido para cálculos matemáticos,

sejam eles simbólicos, numéricos ou gráficos, desenvolvido por um grupo de pesquisadores da Universidade de Paderborn, Alemanha. MuPAD é usado no ensino superior e universitário na Alemanha e outros países europeus. Este software é útil tanto para estudantes como para engenheiros, arquitectos e outros profissionais que trabalham com cálculos.

O programa permite resolver equações, sistemas de equações, inequações, operar com matrizes, calcular determinantes, trabalhar com polinómios, efectuar simplificações e desenvolvimento de expressões, calcular limites, derivadas, integrais, entre outras aplicações. O MuPAD permite, ainda, o traçado de gráficos em 2D e 3D.

Quando o aluno está a executar uma tarefa a interactividade é extremamente importante. Existe uma variedade de exercícios que são propostos de uma forma sequencial. Isto é, se o aluno pretende, por exemplo, efectuar uma eliminação de Gauss-Jordan terá que o fazer passo-a-passo, apesar de existir um botão de comando que permita efectuar essa tarefa. Contudo, esse comando estará desactivo nesse momento, interditando o seu acesso. Por sua vez, o aluno terá acesso a botões de comando como *“Multiplicar uma linha por um número”*, *“Adicionar uma linha com outra”* e *“Trocar duas linhas”*. Deste modo, o aluno tem de saber todo o processo para resolver um problema.

Se o aluno pretende calcular o valor de um determinante, terá acesso ao comando *“Fazer a eliminação de Gauss”* ou *“Fazer a eliminação de Gauss-Jordan”*, mas não terá acesso ao comando *“Determinante”*, que lhe daria o resultado. O aluno obtém então a matriz diagonal que lhe irá permitir obter o valor do determinante, bastando para isso multiplicar os valores da diagonal da matriz obtida.

Este programa tem como objectivo primário que os alunos aprendam os conteúdos de álgebra linear mais importantes, para então estarem aptos a utilizar um sistema de álgebra computacional para a resolução dos problemas.

Alguns dos objectivos educacionais deste programa são:

- (i). Entender conceitos como: vector, álgebra vectorial, matriz, determinante, entre outros;
- (ii). Melhorar o conhecimento da topologia tridimensional;
- (iii). Dar a conhecer algumas aplicações de conceitos de álgebra linear.

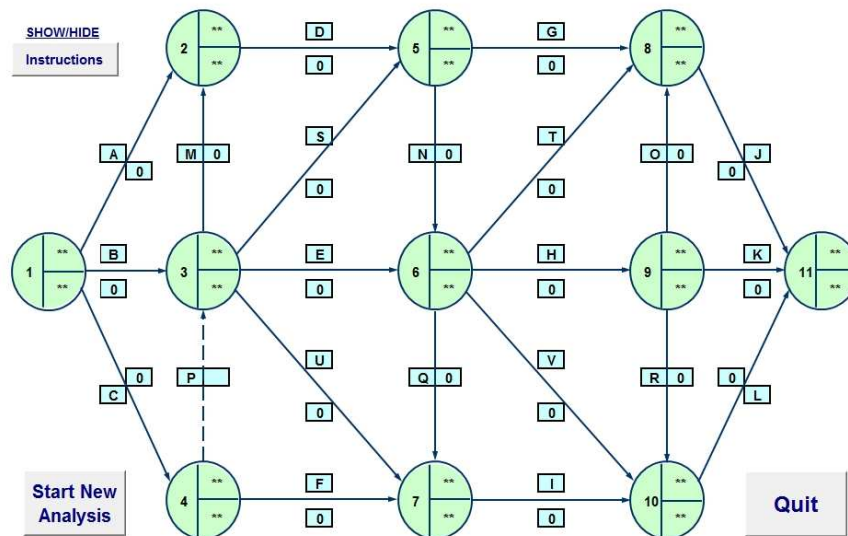


Figura 4.6: Modelo I de uma folha de cálculo

5.5 Aprendizagem e Avaliação Assistida por Computador de Análise do Caminho Crítico

O projecto que abordaremos de seguida foi desenvolvido na Universidade de Coventry em 2004/2005. O projecto, denominado “Computer-Aided Learning and Assessment of Critical Path Analysis”, teve como objectivo superar as dificuldades em ensinar e avaliar um grande grupo de alunos com experiências e competências muito diversificadas.

Os programas desenvolvidos neste projecto foram usados com alunos da instituição educacional Coventry Business School, durante dois anos consecutivos, tendo-se registado um grande sucesso.

Os programas foram produzidos em folhas de cálculo que geram sequências de diferentes problemas de análise de caminho crítico de um dado projecto. As Figuras 4.6 e 4.7 são dois modelos de folhas de cálculo produzidas no âmbito deste projecto, associados a diferentes tipos de actividades.

É pedido aos alunos que construam um modelo de uma folha de cálculo, contendo fórmulas que permitam efectuar actualizações, caso algum dado seja

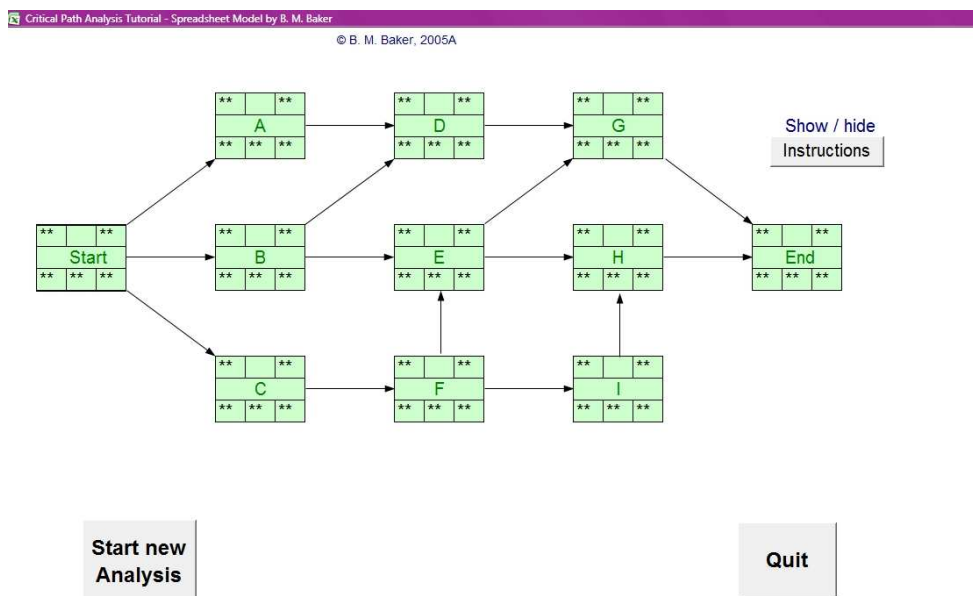


Figura 4.7: Modelo II de uma folha de cálculo

alterado, ou seja, de modo que permita usar o modelo para uma análise do tipo “E se...?”. As Figuras 4.8 e 4.9 ilustram um exemplo de um exercício proposto por este programa.

Neste projecto foram produzidos dois tipos diferentes de folha de cálculo. A folha de cálculo destinada à aprendizagem assistida por computador, que inclui feedbacks para os alunos, permitindo assim que estes pratiquem e aprendam através dos seus erros. O segundo tipo de folha de cálculo é destinada à avaliação, não fornecendo feedback aos alunos, mas apenas alguma informação codificada para auxiliar o processo de avaliação. Permite que se imprima uma folha com informações, mostrando exactamente onde é que os erros foram cometidos e a classificação final calculada pelo programa. A Figura 4.10 é um exemplo de uma folha de cálculo destinada à avaliação.

Inicialmente os alunos devem começar por usar uma folha de cálculo do tipo tutorial, que inclui as instruções passo-a-passo, com o objectivo de aprenderem sozinhos como se constrói uma folha de cálculo modelo para este tipo de rede. De seguida, podem usar a primeira macro da folha de cálculo, construindo tantos modelos de rede diferentes quantos acharem necessários, até ganharem

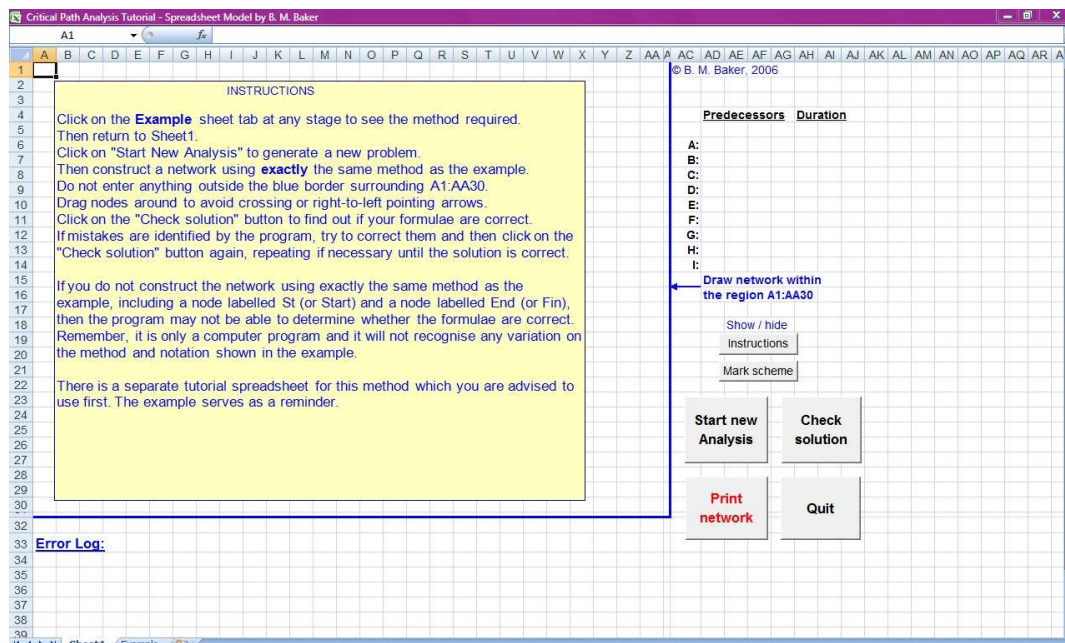


Figura 4.8: Exercício proposto pelo programa

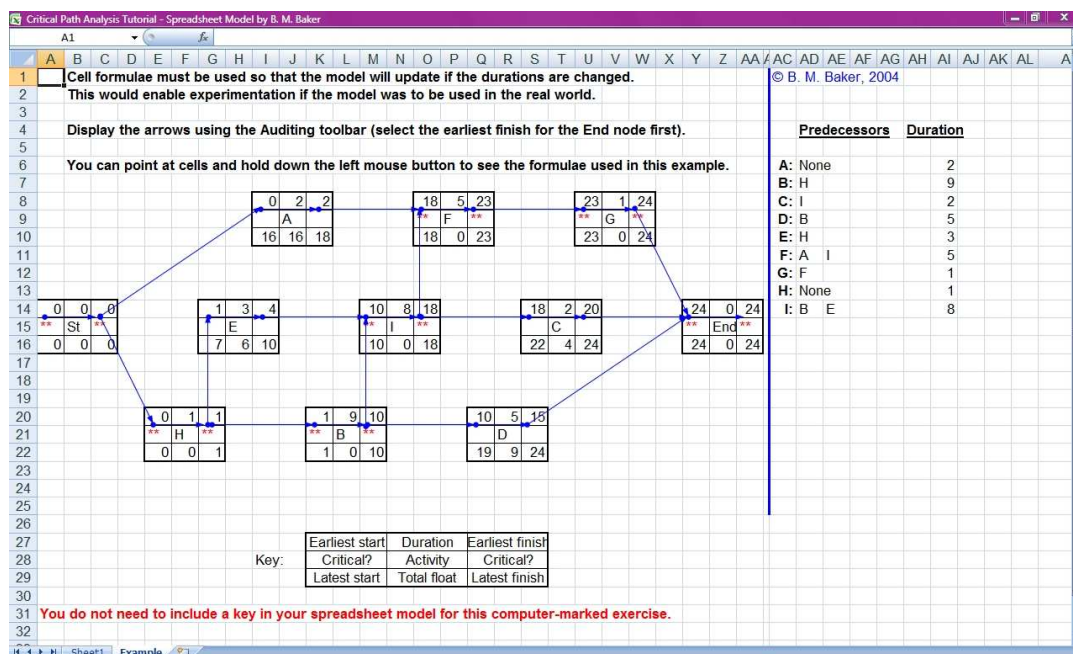


Figura 4.9: Exemplo do exercício proposto

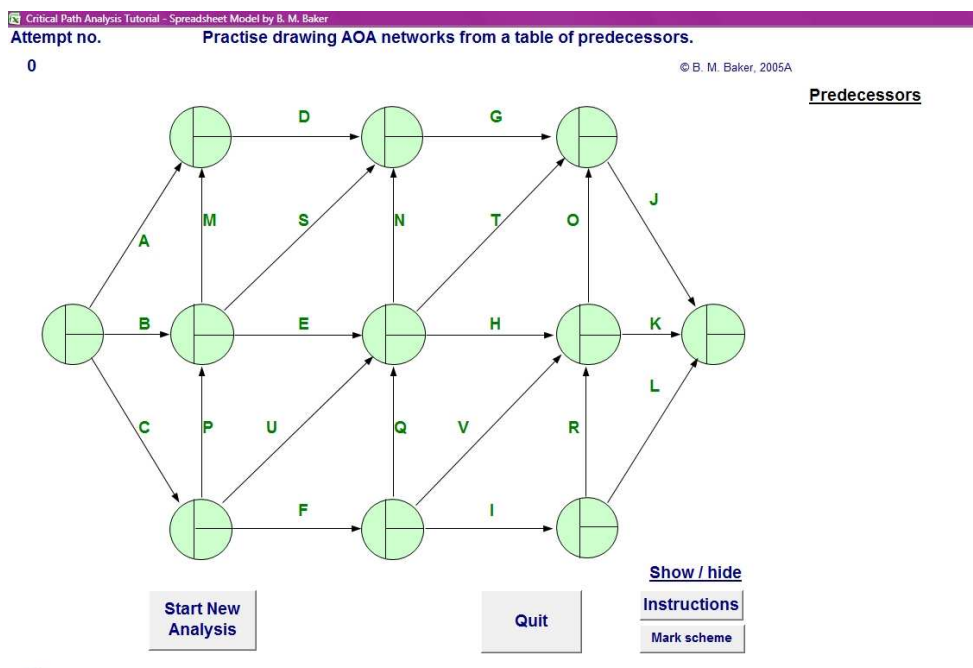


Figura 4.10: Exemplo de uma folha de cálculo para o processo de avaliação

confiança de que conseguem fazê-lo correctamente. A segunda macro pode ser usada sob condições de teste.

No final da experiência os alunos demonstraram satisfação em utilizar estes programas. Consideraram os programas úteis para aperfeiçoar as suas aptidões em trabalhar com folhas de cálculos e sua compreensão sobre a análise de caminhos críticos.

Neste capítulo foram apresentados diversos exemplos da utilização do computador no ensino, desde aplicações de uso da ferramenta Web no ensino de algumas disciplinas, ao desenvolvimento de instrumentos e ambientes simulados de aprendizagem assistida por computador.

No capítulo que se segue iremos apresentar o projecto PmatE, desenvolvido na Universidade de Aveiro, que nos forneceu uma ferramenta importante para o desenvolvimento do nosso projecto, nomeadamente a disponibilização dos modelos da sua base de dados.

Capítulo 5

Projecto Matemática Ensino

“O PmatE -Projecto Matemática Ensino da Universidade de Aveiro faz 20 anos. Começou, como todos os que querem crescer bem, com pequenos passos: uma competição de Matemática para o 9º ano, o primeiro EQUAmat, envolvendo um número reduzido de escolas e com um impacto apenas local. Mas o gérmen do sucesso já lá estava. Promoção do gosto de aprender, desenvolvimento de software, original e à medida, e criação de parcerias com Escolas e colegas doutros níveis de ensino, foram preocupações do projecto que se mantêm desde esse primeiro momento.”

O Vice-Reitor da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Manuel Assunção

1 O Projecto

O Projecto Matemática Ensino (PmatE) é um projecto de investigação e desenvolvimento da Universidade de Aveiro, criado em 1989, para constituir uma interface entre esta universidade e a rede escolar, no âmbito da divulgação e comunicação de ciência, da intervenção escolar e da cooperação com Países de Língua Oficial Portuguesa. Tem desenvolvido, desde 1990, uma plataforma de ensino assistido por computador, actualmente existente apenas na Internet que, para além de abranger vários graus de ensino, desde o básico ao superior, desenvolve conteúdos quer no modo competição, quer no modo formativo

(avaliação, diagnóstico e treino). No seu início, o projecto teve como principal objectivo fomentar nos alunos o gosto pela matemática, nomeadamente pelas matemáticas escolares.

Com base nesta plataforma de ensino têm sido desenvolvidas competições específicas, para os vários ciclos de ensino. Temos a competição MINImat, que é uma competição de matemática para alunos do 1º ciclo do ensino básico; MAISmat para alunos do 2º ciclo; EQUAmat para alunos do 3º ciclo; Mat12 para alunos do ensino secundário e NIGHTmat para alunos do ensino superior. Existe ainda o REDEmat que é um conjunto de competições de matemática à distância, em que várias escolas se associam para competir, e abrange competições do 1º, 2º e 3º ciclos e secundário, entre elas o MINImat, o MAISmat, o EQUAmat e o Mat12.

O PmatE pretende pautar a sua acção por critérios de inovação, de internacionalização e de impacto no panorama escolar, sobretudo pelo estabelecimento de um conjunto de projectos que promovem a difusão e o gosto por várias áreas do saber. Permite a promoção dos conhecimentos curriculares e da criação de hábitos de estudo, seja individuais ou em grupo.

Em colaboração com o Departamento de Biologia da Universidade de Aveiro, o PmatE lançou as competições nacionais de biologia: MINIBio, bio10-11, bio11-12 e REDEbio. O projecto lançou ainda quatro novas competições, duas dedicadas à física: a fis12 e a REDEFis para alunos do ensino secundário e duas de Português para alunos do 3º ciclo do ensino secundário, a DAR@língua e a língua EM REDE.

O PmatE promove também encontros nacionais e internacionais, com principal destaque para o AFI-Aprendizagem Formal e Informal, a OFA-Outras Formas de Aprender e a Bienal da Matemática, Língua Portuguesa e Tecnologias.

Em parceria com a Caixa Geral de Depósitos, lançou em 2006 o *roadshow* CAIXAmat. Trata-se de um camião que percorre Portugal de Norte a Sul entre Janeiro e Junho, permitindo que cerca de 50.000 alunos contactem anualmente com dispositivos tecnológicos que, de forma interactiva, os estimulam para a aprendizagem da Matemática, Biologia, Física e Português. O camião, destinado a alunos de todos os ciclos de ensino, está equipado com as mais avançadas tecnologias, permitindo que os alunos interajam com o software

educativo desenvolvido, façam experimentações no campo da Física e Biologia, num ambiente tecnológico estimulante que os induza a um contacto mais próximo com a ciência e a uma maior motivação para o seu estudo e descoberta ([27]).

O PmatE está a comemorar 20 anos de existência e ao fim destes anos é de realçar o seu contributo para o desenvolvimento de novas metodologias de ensino-aprendizagem, de avaliação formativa e implementação das mesmas. Tem conseguido interessantes aplicações do novo paradigma, que coloca o estudante no centro do processo de aprendizagem, promovendo hábitos de trabalho e incentivando a actividade colaborativa e em rede.

O projecto tem apoiado diferentes disciplinas de diversas áreas do saber do ensino superior, tanto na Universidade de Aveiro como noutras instituições superiores, entre muitos outros projectos. Na Universidade de Aveiro várias disciplinas têm sido apoiadas pelo PmatE, desde o ano lectivo 2002/2003, no âmbito da avaliação dos alunos e da realização de testes diagnósticos. Cálculo II, foi a primeira disciplina a utilizar aplicações do PmatE, para avaliação de alunos na Universidade de Aveiro. Foi a primeira experiência numa cadeira do ensino superior. Seguiram-se as disciplinas de Fundamentos de Matemática, Métodos Numéricos e Matemática Básica. Depois, foram introduzidas algumas novidades, tais como um conjunto de ferramentas de gestão e manutenção das várias provas e o conceito de avaliação por objectivos. Este novo conceito permite aferir os conhecimentos dos alunos com base em objectivos que complementam a cotação usual de 0 a 20.

Além dos Métodos Numéricos, o projecto apoia, pela primeira vez, a disciplina de Cálculo I. Neste âmbito a equipa responsável pela disciplina teve em conta os resultados do TDMat (Teste Diagnóstico em Matemática), que lhes permitiu trabalhar com os alunos no sentido de resolver as maiores lacunas observadas neste teste.

Além das cadeiras já referidas atrás, o PmatE apoia a cadeira de Tópicos de Matemática. O Teste Diagnóstico em Matemática (TDMat) tem como objectivo avaliar as competências dos alunos em Tópicos de Matemática. Este teste diagnóstico, com carácter obrigatório em 2003/2004, foi realizado pelos alunos de Ciências e Engenharia da Universidade de Aveiro que se inscreveram na disciplina de Cálculo I.

No ano lectivo de 2002/2003, além do TDMat, foi efectuado um outro teste diagnóstico, o TDTop para a disciplina de Tópicos de Matemática. Entre os dois testes diagnósticos foram geradas perto de 250 provas. Em 2003/2004 efectuaram o teste diagnóstico perto de 670 alunos.

Em 2005, a equipa de docentes de Cálculo III decidiu usufruir da plataforma de ensino assistido desenvolvida pelo PmatE, de forma a enriquecer o processo de ensino-aprendizagem e sua avaliação. Assim, iniciou-se o processo de elaboração, programação e avaliação de modelos que abarcavam todos os conteúdos programáticos da disciplina. Ao longo do primeiro semestre do ano lectivo 2005/2006, e em conformidade com os conteúdos leccionados, foram disponibilizados alguns modelos, de modo que os alunos os utilizassem como ferramenta de estudo com vista à preparação dos testes escritos da avaliação contínua. Nesta primeira experiência, os modelos eram usados apenas como ferramenta de selecção de alunos para a realização dos testes escritos, e não como meio de avaliação dos alunos. Contudo, ao verificar-se uma melhoria dos resultados obtidos com esta experiência, a equipa de docentes da disciplina de Cálculo III decidiu, no ano lectivo 2006/2007, realizar quatro testes informatizados na plataforma do PmatE com peso na nota final dos alunos ([26]).

2 Modelos Geradores de Questões

O elemento básico sobre o qual assenta todo o projecto PmatE são os modelos geradores de questões (MGQ). O modelo gerador de questões é um objecto matemático que gera questões de acordo com objectivos científicos e pedagógico-didácticos específicos, previamente definidos, e que obedece a uma classificação, quer por objectivos científico-didácticos, quer por níveis de dificuldade.

As questões são geradas, de forma aleatória, por expressões parametrizadas, onde os domínios dos parâmetros dependem do nível etário e escolar a que se destinam. A estas expressões chamamos *modelo gerador de questões*. As questões são constituídas por um texto inicial comum e por quatro itens (frases ou porções de frase) que formam quatro proposições distintas. Os quatro itens são designados, de forma simplificada, por respostas.

O processo de criação de um MGQ passa pela escrita em papel do modelo, que contém um conjunto de parâmetros e um conjunto de proposições. Esse MGQ é enviado, numa segunda fase, a uma equipa de programação que programa e o disponibiliza para testes. Segue-se a fase de avaliação, que é executada pela pessoa que elaborou o modelo. Caso sejam detectados erros, ter-se-á de fazer uma nova elaboração ou uma nova programação e uma nova avaliação. Só depois o modelo irá constar de uma base de dados, onde lhe será atribuída uma identificação e uma codificação segundo determinados aspectos: área científica, área, tema, sub-tema, objectivo principal (OP), objectivo secundário (OS), ciclo de ensino (CE), nível de dificuldade (ND), tipo de modelo e, quando necessário, informação adicional sobre o modelo.

Os conteúdos e respectivos objectivos de todas as áreas e graus de ensino abrangidos pelo PmatE encontram-se organizados na denominada *árvore de objectivos*. De seguida, ilustramos a organização em árvore de uma parte dos conteúdos programáticos do tema *Geometria* do Ensino Básico, que se encontram na base de dados do PmatE.

- ST(127): Estudo dos triângulos
 - OP(278): Casos de igualdade e semelhança de triângulos
 - * OS(1818): Casos de igualdade de triângulos
 - OP(276): Noções básicas
 - * OS(1910): Caracterização de um triângulo
 - * OS(1825): Desigualdade triangular
 - * OS(619): Medianas de um triângulo e baricentro
 - * OS(622): Noções básicas
 - * OS(620): Relação entre os comprimentos dos lados de um triângulo
 - OP(277): Triângulo rectângulo
 - * OS(2067): Aplicações do Teorema de Pitágoras no espaço - Alturas
 - * OS(2066): Aplicações do Teorema de Pitágoras no espaço - Diagonais de sólidos
 - * OS(626): Aplicações do Teorema de Pitágoras no plano
 - * OS(625): Enunciado do Teorema de Pitágoras
 - * OS(624): Propriedade do triângulo rectângulo

Uma das maiores vantagens destes MGQ é o facto de se obter diferentes concretizações do mesmo modelo. As Figuras 5.1, 5.2 e 5.3 mostram três concretizações diferentes do modelo 410 relativo ao tema “Casos de igualdade de triângulos”.

Considera os triângulos $[EGD]$ e $[MSL]$.

O triângulo $[MSL]$ não é um triângulo escaleno.

☐ V
☐ F

O perímetro do triângulo $[MSL]$ é 250 cm.

☐ V
☐ F

O triângulo $[EGD]$ é geometricamente igual ao triângulo $[MSL]$.

☐ V
☐ F

$\widehat{E} + \widehat{G} + \widehat{D} = 180^\circ$.

☐ V
☐ F

Responder

Figura 5.1: Concretização I do modelo 410

Contudo, o PmatE é uma plataforma de ensino independente do conhecimento efectivo de cada aluno. Fornece aos alunos um conjunto de questões pré-determinadas, cuja escolha é independente do seu conhecimento. Neste tipo de sistemas, o aluno e as suas capacidades e dificuldades simplesmente não são consideradas.

Deste modo, em 2006, no âmbito de uma tese de mestrado, decidiu-se rentabilizar a plataforma de ensino assistido por computador do PmatE, construindo uma proposta de um sistema inteligente. Foi então criada a primeira versão de teste de uma aplicação Web em C# que utiliza a tecnologia dos modelos geradores de questões da plataforma de software do PmatE, cujo principal objectivo é ser adaptável ao ritmo de aprendizagem de cada aluno.

No ano lectivo 2007/2008, no âmbito desta dissertação, decidiu-se continuar a desenvolver esta aplicação Web, a fim de estudar a sua aplicabilidade no

Considera os triângulos $[EGD]$ e $[MSL]$.



$\widehat{S} + \widehat{M} + \widehat{L} = 360^\circ$. ☐ V
☐ F

O triângulo $[EGD]$ é um triângulo equilátero. ☐ V
☐ F

O perímetro do triângulo $[MSL]$ não é 62 cm. ☐ V
☐ F

O triângulo $[EGD]$ não é geometricamente igual ao triângulo $[MSL]$. ☐ V
☐ F

[Responder](#)

Figura 5.2: Concretização II do modelo 410

Considera os triângulos $[EGD]$ e $[MSL]$.



O triângulo $[EGD]$ é um triângulo equilátero. ☐ V
☐ F

O triângulo $[EGD]$ é geometricamente igual ao triângulo $[MSL]$. ☐ V
☐ F

$\widehat{E} + \widehat{G} + \widehat{D} = 360^\circ$. ☐ V
☐ F

O perímetro do triângulo $[MSL]$ é 105 cm. ☐ V
☐ F

[Responder](#)

Figura 5.3: Concretização III do modelo 410

ensino básico e superior. Por conseguinte, iremos apresentar no capítulo 6 a nossa proposta de sistema inteligente de ensino assistido por computador para o ensino superior e uma adaptação elaborada para o ensino básico.

Capítulo 6

Sistemas Inteligentes de Ensino Assistido por Computador

Desde os anos 60 que se utiliza o computador para fins educacionais. Mas é na década de 70 que surge a Inteligência Artificial (IA), dando início ao desenvolvimento dos primeiros programas inteligentes, denominados STI (Sistemas Tutoriais Inteligentes). Com a utilização da IA no desenvolvimento de programas para fins educacionais, estes têm-se tornado mais flexíveis às necessidades dos alunos, criando um novo ambiente de aprendizagem.

A estrutura conceptual de um sistema inteligente deve conter alguns componentes básicos. Segundo Corredor ([39]), estes componentes são:

- *Módulo especialista*, contém o conhecimento a ser transmitido, com capacidade para responder a dúvidas, reconhecer a solução incorrecta e apresentar diferentes exercícios com solução comum;
- *Módulo modelo do aluno*, são armazenadas informações sobre o aluno (compreensão do assunto, estratégia de ensino preferida, erros cometidos no processo de aprendizagem e estratégia utilizada para a resolução de problemas) e determinado o nível em que o aluno se encontra em relação a um conhecimento específico;
- *Módulo tutor*, contém as estratégias, regras e processos que orientam as interacções do sistema com o aluno. Este módulo tem a função de determinar que tipo de problema o aluno deve resolver num determinado mo-

mento, controlar e criticar o rendimento do aluno, facilitar ajuda sempre que solicitado, seleccionar material de apoio em casos de erros e permitir ou não um determinado erro do aluno;

- *Módulo interface com o utilizador*, é responsável por gerar procedimentos correctos para o aluno, interpretar as suas respostas e organizá-las no sistema. Para este módulo pode ser importante resolver os problemas de compreensão da linguagem natural.

É neste contexto de sistema inteligente de ensino assistido por computador, que iremos apresentar a nossa proposta. Num trabalho de mestrado anterior foi elaborada a primeira versão de uma aplicação Web para a disciplina de Cálculo III, utilizando os conteúdos do PmatE ([2]). No sentido de continuar este trabalho desenvolveu-se esta tese, tentando aperfeiçoar este sistema e torná-lo uma ferramenta de utilidade no processo ensino-aprendizagem.

1 O Projecto de Cálculo III - SA3C

Cálculo III é uma disciplina de matemática do segundo ano de cursos de engenharia da Universidade de Aveiro, que tem registado uma elevada taxa de insucesso. Deste modo, a equipa de docentes decidiu, em 2005, usufruir da plataforma de ensino assistido desenvolvida pelo PmatE para enriquecer o processo de ensino-aprendizagem e sua avaliação.

No ano lectivo 2005/2006 foi criada uma aplicação Web em C# que utiliza a tecnologia dos modelos geradores de questões da plataforma de software do projecto PmatE. O objectivo principal deste sistema é ser adaptável ao ritmo de aprendizagem de cada aluno, tornando-se assim um sistema inteligente e não determinístico. O sistema permite que o aluno vá respondendo a questões sem uma ordem pré-determinada. Após cada resposta do aluno, um novo modelo é escolhido automaticamente, tendo em conta o desempenho do aluno nos modelos anteriores. Este sistema de avaliação e aprendizagem assistido por computador (SA3C) foi desenvolvido com base no conteúdo da disciplina Cálculo III - funções com várias variáveis.

No ano lectivo 2007/2008, no âmbito desta dissertação, pretendemos continuar a desenvolver esta aplicação Web e testar o sistema com alunos de

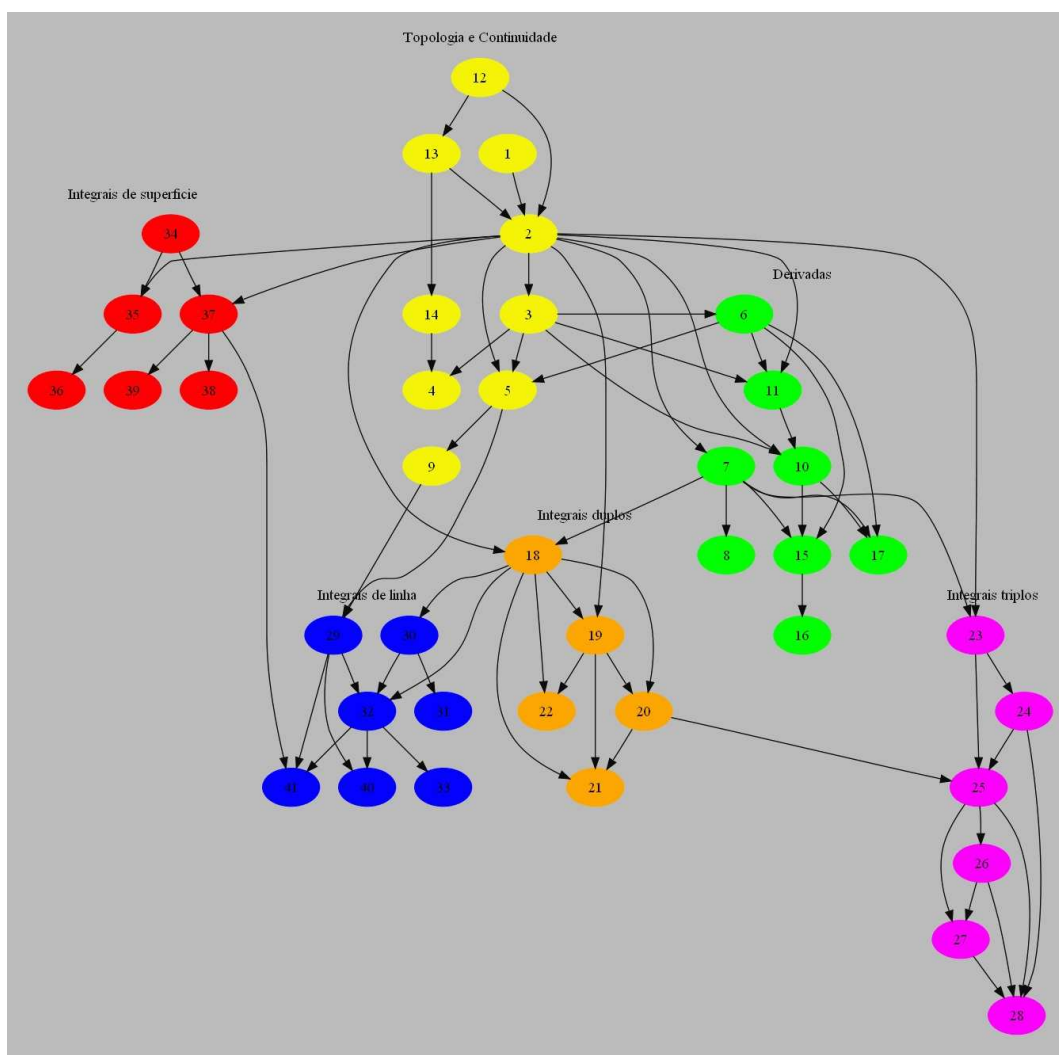


Figura 6.1: Grafo de Objectivos do SA3C

Cálculo III, de modo a podermos estudar a sua aplicabilidade e relevância na aprendizagem.

Tendo em conta os conteúdos programáticos da disciplina de Cálculo III foram escolhidos 41 objectivos secundários ($n = 41$) da árvore de objectivos do PmatE. O grafo da Figura 6.1 é uma representação desses objectivos secundários relativos ao conteúdo de Cálculo III.

Toda a informação necessária para a criação deste sistema de ensino assistido encontra-se armazenada em duas matrizes: A (proximidade) e B (bases), e dois vectores: C (conhecimento) e V (permanência). As matrizes A e B

mantêm-se inalteradas ao longo do programa e fazem parte da *Classe Disciplina* e os vectores C e V são actualizados após cada interacção do aluno e encontram-se na *Classe Aluno*, sendo estas as duas únicas classes do nosso sistema informático.

A matriz A é uma matriz $n \times n$ que representa a proximidade entre os objectivos secundários. Os elementos desta matriz variam entre os valores $pn = 0$, $pd = 3$ e $px = 15$, sendo pn o valor tomado quando os objectivos estão muito distantes, pd quando os objectivos estão em temas vizinhos e px é o valor tomado quando a proximidade é máxima, que acontece quando os objectivos pertencem ao mesmo tema. Deste modo, quanto maior o valor do elemento da matriz maior é a proximidade entre os objectivos. Essa relação de proximidade é visível no grafo da Figura 6.1. Os objectivos que estão fortemente relacionados do ponto de vista do seu conteúdo são denominados objectivos próximos e estão representados no grafo da mesma cor. Os objectivos que estão menos relacionados estão mais afastados. Os objectivos com proximidade máxima são os objectivos do mesmo tema e com proximidade média os que estão em temas vizinhos.

A matriz B é uma matriz $n \times n$ de zeros e uns e representa a dependência entre os diferentes objectivos. Se um objectivo é base de outro então essa informação é representada pelo número um, caso contrário teremos o zero. A organização desta matriz está expressa no grafo dos objectivos na Figura 6.1. As arestas dirigidas de um objectivo para outro significam que o objectivo de onde parte a seta é base do objectivo ao qual está ligado.

O vector C , de n posições, contém a percentagem de conhecimento que o aluno possui, após cada interacção, em cada um dos objectivos secundários. No início do programa todas as posições deste vector tomam o valor 50%.

Finalmente o vector V , também de n posições, contém o número de questões respondidas pelo aluno em cada objectivo secundário. No início do programa todas as posições deste vector são nulas.

Com base nos valores de A , B , C e V , o sistema cria o vector P (probabilidades), que permite definir a probabilidade de “saltar” do objectivo corrente para cada um dos outros.

Sejam as matrizes A e B definidas do seguinte modo:

$$A := [A_{i,j}], i, j = 1, \dots, n$$

$$B := [B_{i,j}], i, j = 1, \dots, n$$

Vamos assumir que nos encontramos no objectivo k e pretendemos determinar a probabilidade de ser seleccionado o objectivo secundário i . Para tal, só vamos utilizar dois vectores, a linha k da matriz A e a coluna k da matriz B . Para simplificar vamos denotar por A e B estes dois vectores:

$$A := (A_{k,j}), j = 1, \dots, n$$

$$B := (B_{i,k}), i = 1, \dots, n$$

Os vectores \bar{A} , \bar{B} , \bar{C} e \bar{V} denotam as contribuições dos vectores A , B , C e V , respectivamente, para o cálculo da probabilidade e são definidos do seguinte modo:

$$\bar{A}_i = A_i, \bar{B}_i = B_i, \bar{C}_i = 100 - C_i \text{ e } \bar{V}_i = \max\{V_i\} - V_i \text{ (} i = 1, \dots, n \text{)}.$$

Assim, a fórmula usada para actualizar o vector P é a seguinte:

$$p_i = \frac{\text{peso}A}{100} \frac{\bar{A}_i}{\sum_j \bar{A}_j} + \frac{\text{peso}B}{100} \frac{\bar{B}_i}{\sum_j \bar{B}_j} + \frac{\text{peso}C}{100} \frac{\bar{C}_i}{\sum_j \bar{C}_j} + \frac{\text{peso}V}{100} \frac{\bar{V}_i}{\sum_j \bar{V}_j} \text{ (} i = 1, \dots, n \text{)}.$$

Os parâmetros $\text{peso}A$, $\text{peso}B$, $\text{peso}C$ e $\text{peso}V$ medem o contributo de A , B , C e V , respectivamente, na actualização do vector das probabilidades e a sua soma é igual a 100.

Os valores iniciais do vector P foram definidos de modo que o primeiro modelo a ser escolhido corresponda a um objectivo secundário cujo tema não possui um elevado grau de dificuldade. Após o aluno ter respondido ao modelo que lhe foi apresentado, validando as quatro afirmações como verdadeiras ou falsas, o sistema guarda o número de respostas certas dadas pelo aluno. Se o aluno validou correctamente as quatro afirmações, o valor da correspondente posição do vector C é incrementado 20%; se validou correctamente três afirmações, a actualização do vector C é feita adicionando 10%. Caso o aluno valide correctamente apenas duas afirmações, o valor da correspondente posição do vector

C não é alterado. Se o aluno validar correctamente apenas uma afirmação, a respectiva posição do vector C é decrementada em 10%, e no caso de não validar correctamente qualquer uma das quatro afirmações, é decrementada em 20%. Sempre que o aluno responda a um modelo de um determinado objectivo secundário, a referente posição do vector V é incrementada de uma unidade. Actualizados os vectores C e V , um novo vector de probabilidades é criado, um novo objectivo é seleccionado e um modelo é aleatoriamente escolhido dentro desse objectivo, repetindo-se todo o processo anteriormente descrito.

Os valores iniciais dos parâmetros $pesoA$, $pesoB$, $pesoC$ e $pesoV$ estão estabelecidos de modo a aumentar a probabilidade de o aluno se manter temporariamente nas questões do primeiro tema escolhido. Neste momento os valores iniciais são $pesoA = 90.0$, $pesoB = 0.0$, $pesoC = 10.0$ e $pesoV = 0.0$. Assim, serão apresentadas questões dentro de um mesmo tema, até que o aluno comece a demonstrar conhecimento e aí já lhe serão apresentados temas com um nível de dificuldade superior, ou caso demonstre dificuldades serão seleccionados temas que são base desse, a fim do aluno superar as suas dificuldades.

Durante a execução do programa estes parâmetros são actualizados, mediante o desempenho do aluno. O modo como estes parâmetros são actualizados é bastante empírico e está ainda em aperfeiçoamento. Após cada resposta do aluno, além de ser actualizado o vector P das probabilidades é feita uma reavaliação, sendo eventualmente também alterados os valores destes parâmetros. Por exemplo, se o aluno revela dificuldades num determinado tema, o valor de $pesoB$ é incrementado de modo a aumentar a probabilidade de o sistema encaminhar o aluno para temas que servem de base àquele em que revela dificuldades. Todo o código C# deste sistema encontra-se no apêndice A.

Concluída a fase de programação foi nosso interesse criar um simples interface gráfico, a fim de tornar o programa um pouco mais atractivo. É de salientar que, devido ao factor tempo, a parte do interface gráfico não foi desenvolvida como gostaríamos, sendo de melhorar substancialmente num trabalho futuro.

Esta aplicação foi disponibilizada, em meados de Abril, a um grupo de alunos inscritos na disciplina de Cálculo III. O projecto está disponível no endereço <http://pmate.ua.pt/sa3c/login.aspx>. Foi pedido aos alunos que se registassem no sistema, preenchendo o campo *Utilizador*, preferencialmente

com o seu número mecanográfico, e o campo *Password*, como mostra a Figura 6.2.



The image shows a web form titled "SA3C - Registo no sistema". Below the title, there is a note: "De preferência, o campo Utilizador deve ser o seu número mecanográfico". There are two input fields: "Utilizador:" and "Password:". Below these fields is a "Registar" button. At the bottom of the form, there is a button labeled "Voltar à página de login".

Figura 6.2: Janela do Registo no SA3C

Estando registado no sistema, o aluno está em condições de efectuar o login para aceder à aplicação. A Figura 6.3 apresenta um exemplo de um login efectuado por um utilizador. Nessa fase do login, o aluno pode ainda aceder a algumas informações sobre a utilização da aplicação, bastando carregar no botão *Informações*.

Ao efectuar o login é apresentado um quadro com os quarenta e um objectivos (temas) e as respectivas percentagens respeitantes ao conhecimento demonstrado até então (ver Figura 6.4). Para além de ser apresentada uma grelha com o seu conhecimento actual nos diversos temas, o aluno ainda tem indicação do tema da próxima questão que lhe será apresentada. Caso pretenda responder, basta clicar no botão *Responder à Questão* e ser-lhe-á apresentada a questão. Respondida a questão, existe um mecanismo de resposta que dá a conhecer ao aluno o número de respostas que acertou e, conseqüentemente, a respectiva actualização do nível de conhecimento será efectuada. Este tipo de sistema pretende que o aluno seja autónomo no seu processo de aprendizagem

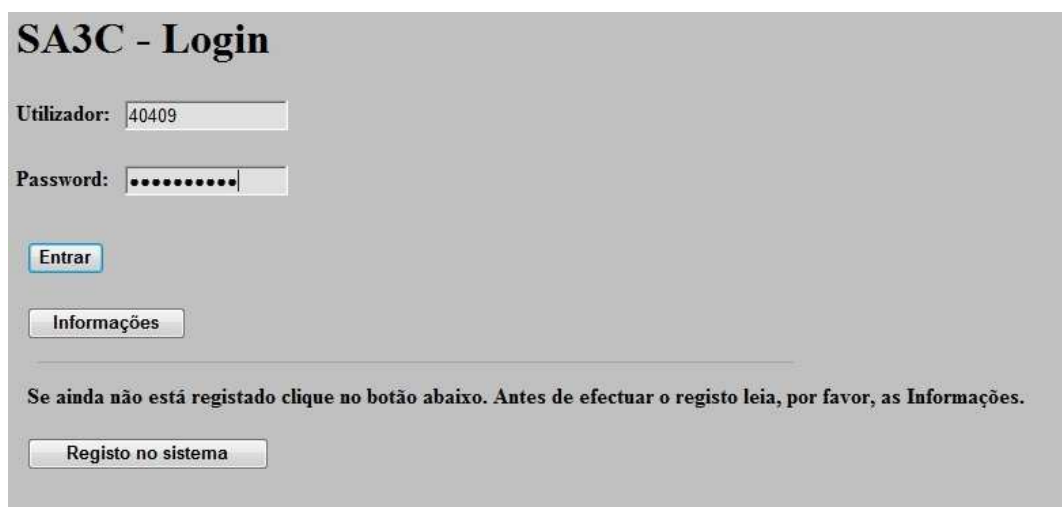
The image shows a web-based login interface for a system called SA3C. At the top, the title "SA3C - Login" is displayed in a bold, black font. Below the title, there are two input fields: "Utilizador:" with the value "40409" and "Password:" with a masked password represented by nine dots. To the right of the password field is a small square icon. Below these fields are two buttons: "Entrar" (Login) and "Informações" (Information). A horizontal line separates these buttons from the registration section below. The registration section contains the text "Se ainda não está registado clique no botão abaixo. Antes de efectuar o registo leia, por favor, as Informações." followed by a button labeled "Registo no sistema" (Register on the system).

Figura 6.3: Janela do Login no SA3C

e, deste modo, é-lhe dada a hipótese de ser ele a escolher o tema da questão que quer responder, bastando indicar na célula correspondente o número associado ao tema desejado. Na concepção deste programa um dos nossos objectivos foi torná-lo uma ferramenta onde houvesse interacção entre o utilizador e o programa, podendo o aluno orientar o seu próprio estudo.

Sempre que o aluno pretenda sair da aplicação, basta clicar no botão *Sair do programa* e é-lhe apresentado um quadro resumo com o conhecimento actual que demonstrou nos diversos temas e a classificação final indicativa do seu desempenho, quantificada de 0 a 5 (ver um exemplo na Figura 6.5).

Quando o aluno sai da aplicação o respectivo vector dos conhecimentos é guardado. Isto permite que, sempre que o aluno volte a efectuar o login, a aplicação não comece do início, mas sim de onde ficou.

2 O Projecto de Geometria - SA3Cg

Com base na aplicação Web do SA3C desenvolvemos a aplicação SA3Cg, para alunos do 7º ano de escolaridade do ensino básico e que contempla os conteúdos programáticos do tema *Geometria* do ensino básico.

Como já foi referido atrás, estes sistemas de ensino assistido são constituídos essencialmente por duas classes, a *Classe Aluno* e a *Classe Disciplina*. Uma

SA3C v002

Tema da próxima questão:

11 - Diferenciabilidade

Responder à questão

Acertou: ☐

Escolher outro tema: ☐

Conhecimento --> Tema

Sair do programa

70	-->	1 - Domínios e gráficos de f.v.v.
40	-->	2 - Limites
80	-->	3 - Continuidade num ponto
100	-->	4 - Teorema de Weierstrass
100	-->	5 - Limites e continuidade de f.v.v. reais
40	-->	6 - Função de classe C^k
20	-->	7 - O vector gradiente
50	-->	8 - Derivadas direccionais
90	-->	9 - Continuidade num ponto (f. vectoriais)
30	-->	10 - Derivada da função composta
60	-->	11 - Diferenciabilidade
80	-->	12 - Noção de distância em \mathbb{R}^n
50	-->	13 - Conjuntos abertos e fechados
100	-->	14 - Conjuntos limitados e compactos
70	-->	15 - Fórmula de Taylor de ordem 2 para uma função dada
0	-->	16 - Extremos locais de uma função real de várias variáveis - uma restrição
20	-->	17 - Função implícita real de diversas variáveis
60	-->	18 - Integrais duplos - Definição
50	-->	19 - Integrais duplos - Propriedades
50	-->	20 - Mudança do integral duplo para o integral simples
10	-->	21 - Integrais duplos - Mudança de variável
50	-->	22 - Integrais duplos - Questões diversas
100	-->	23 - Integrais triplos - Definição
70	-->	24 - Integrais triplos - Propriedades
30	-->	25 - Mudança do integral triplo para o integral simples
50	-->	26 - Integrais triplos - Mudança de variável
70	-->	27 - Integrais triplos - Aplicações
60	-->	28 - Integrais triplos - Questões diversas
50	-->	29 - Campos no plano e no espaço - Campos no espaço
50	-->	30 - Integrais de linha no plano - Integral de uma função real
70	-->	31 - Integrais de linha no plano - Aplicações do integral de funções reais
60	-->	32 - Integrais de linha no plano - Integral de um campo no plano
60	-->	33 - Integrais de linha no plano - Teorema de Green
60	-->	34 - Parametrizações de superfícies
70	-->	35 - Integral de superfície de funções reais
70	-->	36 - Fórmula de cálculo do integral de superfície
70	-->	37 - Integral de superfície de campos no espaço
70	-->	38 - Aplicações do integral de superfície de campos no espaço
50	-->	39 - Teorema da divergência ou de Gauss
50	-->	40 - Integrais de linha no espaço e Teorema de Stokes - Parametrizações de linhas
50	-->	41 - Integrais de linha no espaço e Teorema de Stokes - Teorema de Stokes

Figura 6.4: Quadro de objectivos do SA3C e respectivas percentagens

SA3C - Sair

Até à próxima!

Nota actual (0 a 5):

Conhecimento actual:

70	-->	1	-	Dominios e gráficos de f.v.v.
40	-->	2	-	Limites
70	-->	3	-	Continuidade num ponto
100	-->	4	-	Teorema de Weierstrass
100	-->	5	-	Limites e continuidade de f.v.v. reais
70	-->	6	-	Função de classe C^k
20	-->	7	-	O vector gradiente
50	-->	8	-	Derivadas direccionais
90	-->	9	-	Continuidade num ponto (f. vectoriais)
10	-->	10	-	Derivada da função composta
50	-->	11	-	Diferenciabilidade
90	-->	12	-	Noção de distância em \mathbb{R}^n
70	-->	13	-	Conjuntos abertos e fechados
100	-->	14	-	Conjuntos limitados e compactos
60	-->	15	-	Fórmula de Taylor de ordem 2 para uma função dada
20	-->	16	-	Extremos locais de uma função real de várias variáveis - uma restrição
20	-->	17	-	Função implícita real de diversas variáveis
60	-->	18	-	Integrais duplos - Definição
50	-->	19	-	Integrais duplos- Propriedades
50	-->	20	-	Mudança do integral duplo para o integral simples
10	-->	21	-	Integrais duplos - Mudança de variável
50	-->	22	-	Integrais duplos - Questões diversas
100	-->	23	-	Integrais triplos - Definição
70	-->	24	-	Integrais triplos - Propriedades
30	-->	25	-	Mudança do integral triplo para o integral simples
50	-->	26	-	Integrais triplos - Mudança de variável
70	-->	27	-	Integrais triplos - Aplicações
60	-->	28	-	Integrais triplos - Questões diversas
50	-->	29	-	Campos no plano e no espaço - Campos no espaço
50	-->	30	-	Integrais de linha no plano - Integral de uma função real
70	-->	31	-	Integrais de linha no plano - Aplicações do integral de funções reais
60	-->	32	-	Integrais de linha no plano - Integral de um campo no plano
60	-->	33	-	Integrais de linha no plano - Teorema de Green
60	-->	34	-	Parametrisações de superfícies
70	-->	35	-	Integral de superfície de funções reais
70	-->	36	-	Fórmula de cálculo do integral de superfície
70	-->	37	-	Integral de superfície de campos no espaço
70	-->	38	-	Aplicações do integral de superfície de campos no espaço
50	-->	39	-	Teorema da divergência ou de Gauss
50	-->	40	-	Integrais de linha no espaço e Teorema de Stokes - Parametrisações de linhas
50	-->	41	-	Integrais de linha no espaço e Teorema de Stokes - Teorema de Stokes

Figura 6.5: Quadro com o conhecimento actual nos diversos temas

alteração do conteúdo implica apenas a alteração da *Classe Disciplina*, a qual contém os dados sobre o conteúdo, mantendo-se inalterada a *Classe Aluno*. Deste modo, para a criação desta aplicação, adaptamos o código elaborado para o SA3C, alterando apenas a *Classe Disciplina*.

De acordo com o Currículo Nacional do Ensino Básico da disciplina de Matemática, que o leitor pode consultar em <http://www.dgidc.min-edu.pt/fich-down/livrocompetencias/Matematica.pdf>, os conteúdos programáticos do tema *Geometria*, leccionados no 7º ano de escolaridade, são os seguintes:

- 1- Ângulos. Classificação de ângulos. Ângulos verticalmente opostos.
- 2- Ângulos adjacentes, suplementares e complementares.
- 3- Ângulos de lados paralelos.
- 4- Ângulos de um triângulo.
- 5- Desigualdade triangular. Relação entre os ângulos e os lados de um triângulo. Eixos de simetria.
- 6- Construção e critérios de igualdade de triângulos.
- 7- Quadriláteros.
- 8- Rectas e planos. Posições relativas.
- 9- Áreas e perímetros.
- 10- Volumes de sólidos. Volumes da pirâmide e do cone.

Uma grande parte deste trabalho de mestrado consistiu na selecção dos modelos existentes na base de dados do PmatE para o SA3Cg. Começou-se por explorar a lista de objectivos da plataforma do PmatE e seleccionaram-se os temas, sub-temas e objectivos relativos ao tema *Geometria*. Ao analisarmos a árvore de objectivos do PmatE verificamos que a área respeitante ao tema *Geometria*, A(6): 2º e 3º Ciclos do E.B. e E.Sec./Geometria, possui cinco temas:

- T(21): Geometria analítica;
- T(22): Perímetros, áreas e volumes;
- T(19): Pontos, linhas, rectas, planos e ângulos;
- T(17): Sólidos e figuras geométricas;
- T(20): Transformações geométricas.

No entanto, uma vez que apenas estamos interessados em conteúdos do 7º ano de escolaridade, começamos por excluir os temas T(21): Geometria analítica e T(20): Transformações geométricas. Assim, a lista de objectivos na base de dados do PmatE relevante para o nosso trabalho é a seguinte:

A(6): 2º e 3º Ciclos do E.B. e E.Sec./Geometria

T(22): Perímetros, áreas e volumes

ST(142): Perímetros, áreas e volumes

- OP(357): Perímetros, áreas e volumes
- * OS(962): Perímetros, áreas e volumes

ST(140): Áreas e perímetros de figuras

- OP(317): Área do círculo
- * OS(1899): Área do círculo
- OP(318): Área de figuras através da decomposição
- * OS(959): Área de figuras através da decomposição
- OP(316): Área de polígonos
- * OS(2069): Área do paralelogramo
- * OS(747): Área do triângulo
- * OS(748): Área dos trapézios
- OP(320): Área e perímetro de polígonos
- * OS(766): Área e perímetro de polígonos
- * OS(757): Quadrado
- OP(319): Perímetro de figuras
- * OS(754): Perímetro de polígonos
- * OS(755): Perímetro do círculo
- * OS(2101): Perímetro e aplicações
- OP(817): Relação entre área de polígonos
- * OS(2282): Área do paralelogramo vs área do rectângulo
- * OS(2283): Área do paralelogramo vs área do triângulo

ST(141): Área e volume de sólidos

- OP(699): Área e volume de sólidos
 - * OS(1897): Área e volume de sólidos
 - * OS(1895): Cilindro
 - * OS(1893): Pirâmides
 - * OS(1892): Prismas
- OP(325): Volume de sólidos
 - * OS(784): Cilindro
 - * OS(1909): Cilindro e cone
 - * OS(781): Cone
 - * OS(783): Esfera
 - * OS(779): Prismas

T(19): Pontos, linhas, rectas, planos e ângulos

ST(131): Ângulos

- OP(292): Tipo de ângulos
 - * OS(666): Ângulos de duas rectas

ST(132): Posição relativa de rectas e planos

- OP(297): Critérios de paralelismo e perpendicularidade
 - * OS(683): Critérios de paralelismo e perpendicularidade
- OP(295): Posições relativas de dois planos
 - * OS(1796): Planos paralelos e planos secantes
- OP(296): Posições relativas de duas rectas
 - * OS(677): Posições relativas de duas rectas
 - * OS(675): Rectas complanares
- OP(294): Posições relativas de rectas e planos
 - * OS(671): Posições relativas de rectas e planos

ST(130): Primeiros conceitos de geometria. Pontos do plano e no espaço

- OP(288): Linhas curvas, linhas rectas e superfícies
 - * OS(652): Conceitos de recta, semi-recta, segmento de recta e plano
- OP(747): Pontos no espaço
 - * OS(2128): Representação de pontos no espaço
- OP(289): Pontos no plano

- * OS(659): Pontos no plano
- * OS(658): Pontos pertencentes a rectas e a planos
- * OS(2416): Rectas paralelas aos eixos coordenados e bissectrizes dos quadrantes pares e ímpares

T(17): Sólidos e figuras geométricas

ST(126): Classificar e reconhecer polígonos e sólidos

- OP(274): Classificar e reconhecer sólidos
 - * OS(615): Classificar e reconhecer poliedros
 - * OS(617): Classificar e reconhecer sólidos
- OP(273): Classificar polígonos
 - * OS(610): Classificação de trapézios
- OP(272): Reconhecer e distinguir polígonos
 - * OS(1906): Caracterizar polígonos
 - * OS(1911): Distinguir polígonos

ST(123): Conceitos gerais sobre polígonos e sólidos

- OP(257): Conceitos associados a polígonos e sólidos
 - * OS(583): Diagonais
- OP(673): Definição de poliedro e não poliedro
 - * OS(1791): Definição de poliedro e não poliedro
- OP(258): Polígono regular, côncavo e convexo
 - * OS(589): Polígono regular, côncavo e convexo

ST(128): Estudo da circunferência

- OP(816): Círculo e circunferência: Aplicações/Problemas
 - * OS(2281): Círculo e circunferência: Aplicações/Problemas
- OP(286): Estudo da circunferência
 - * OS(947): Estudo da circunferência
- OP(280): Noções básicas
 - * OS(2077): Círculo e circunferência
 - * OS(630): Posição relativa de rectas relativamente à circunferência
 - * OS(629): Simetrias na circunferência
 - * OS(628): Terminologia

- OP(281): Posição relativa de circunferências e polígonos
 - * OS(632): Polígonos inscritos numa circunferência/circunferência circunscrita

ST(127): Estudo dos triângulos

- OP(278): Casos de igualdade e semelhança de triângulos
 - * OS(1818): Casos de igualdade de triângulos
- OP(276): Noções básicas
 - * OS(1910): Caracterização de um triângulo
 - * OS(1825): Desigualdade triangular
 - * OS(619): Medianas de um triângulo e baricentro
 - * OS(622): Noções básicas
 - * OS(620): Relação entre os comprimentos dos lados de um triângulo
- OP(277): Triângulo rectângulo
 - * OS(2067): Aplicações do Teorema de Pitágoras no espaço - Alturas
 - * OS(2066): Aplicações do Teorema de Pitágoras no espaço - Diagonais de sólidos
 - * OS(626): Aplicações do Teorema de Pitágoras no plano
 - * OS(625): Enunciado do Teorema de Pitágoras
 - * OS(624): Propriedade do triângulo rectângulo

ST(125): Planificação e intersecção de sólidos e decomposição de polígonos

- OP(270): Intersecção de sólidos por um plano dado
 - * OS(605): Identificação da secção obtida
- OP(267): Planificação de não poliedros
 - * OS(602): Cilindro
 - * OS(604): Planificação de não poliedros
- OP(265): Planificação de poliedros
 - * OS(600): Planificação de poliedros

Contudo, é de notar que esta lista de objectivos ainda contempla alguns conteúdos de geometria que não fazem parte do programa do 7º ano de escolaridade. Por exemplo, o objectivo secundário OS(783): *Esfera*, do objectivo principal OP(325): *Volume de sólidos* e o objectivo principal OP(747): *Pon-*

tos no espaço, são dois temas que não são objecto de estudo no 7º ano, e consequentemente não farão parte dos conteúdos da nossa aplicação.

Deste modo, a partir da lista de objectivos do PmatE procedeu-se a uma nova selecção dos objectivos, escolhendo-se trinta e quatro objectivos secundários. Alguns sub-temas e objectivos principais foram considerados temas para esta organização no contexto do SA3Cg e juntaram-se objectivos secundários de objectivos principais e mesmo sub-temas distintos.

A cada objectivo secundário da base de dados do PmatE estão associados modelos, que o leitor pode consultar em <http://pmate.ua.pt/pmate>. Fez-se uma pesquisa de todos os modelos associados aos trinta e quatro objectivos secundários seleccionados e de seguida escolheram-se alguns para a nossa aplicação. Cada modelo tem associado um número, denominado ID, que identifica-o e permite efectuar uma pesquisa mais rápida do modelo na plataforma do PmatE.

A seguir apresentamos a selecção e organização dos temas, objectivos e modelos associados para o SA3Cg, que pareceu mais adequada.

- **Tema 1** - Ângulos (ST(131))

Objectivos secundários:

- OS(666): Ângulos de duas rectas

Modelos associados: 491, 492, 498

- **Tema 2** - Estudo dos triângulos (ST(127))

Objectivos secundários:

- OS(1910): Caracterização de um triângulo

Modelos associados: 1454, 328

- OS(620): Relação entre os comprimentos dos lados de um triângulo

Modelos associados: 823, 838, 897

- OS(1825): Desigualdade triangular

Modelos associados: 500, 502

- OS(1818): Casos de igualdade de triângulos

Modelos associados: 410, 509

- **Tema 3** - Classificar polígonos (OP(273))/ Reconhecer e distinguir polígonos (OP(272))/ Conceitos associados a polígonos e sólidos (OP(257))

Objectivos secundários:

- OS(1906): Caracterizar polígonos
Modelos associados: 363, 544
- OS(1911): Distinguir polígonos
Modelos associados: 1327, 1354
- OS(610): Classificação de trapézios
Modelos associados: 1296, 1351
- OS(583): Diagonais
Modelos associados: 548

- **Tema 4** - Posição relativa de rectas e planos (ST(132))

Objectivos secundários:

- OS(1796): Planos paralelos e planos secantes
Modelos associados: 490
- OS(671): Posições relativas de rectas e planos
Modelos associados: 511

- **Tema 5** - Áreas e perímetros de figuras (ST(140))/ Estudo da circunferência (ST(128))

Objectivos secundários:

- OS(757): Quadrado
Modelos associados: 1282, 319, 357
- OS(754): Perímetro de polígonos
Modelos associados: 321, 358
- OS(2069): Área do paralelogramo
Modelos associados: 851, 852

- OS(747): Área do triângulo
Modelos associados: 856, 857, 858
- OS(2077): Círculo e circunferência
Modelos associados: 681
- OS(628): Terminologia
Modelos associados: 493, 672, 673, 674, 676
- OS(755): Perímetro do círculo
Modelos associados: 683, 957, 1007, 1125, 1126
- OS(1899): Área do círculo
Modelos associados: 849
- OS(2101): Perímetro e aplicações
Modelos associados: 687, 745, 898, 899, 902, 904, 1038
- OS(2281): Círculo e circunferência: aplicações/problemas
Modelos associados: 850

- **Tema 6** - Área e volumes de sólidos (ST(141))/ Classificar e reconhecer sólidos (OP(274))/ Definição de poliedro e não poliedro (OP(673))/ Planificação de sólidos (ST(125))

Objectivos secundários:

- OS(1791): Definição de poliedro e não poliedro
Modelos associados: 791
- OS(615): Classificar e reconhecer poliedros
Modelos associados: 541, 918, 1059, 1495, 485
- OS(617): Classificar e reconhecer sólidos
Modelos associados: 919, 954, 1372
- OS(600): Planificação de poliedros
Modelos associados: 988
- OS(604): Planificação de não poliedros
Modelos associados: 843
- OS(602): Cilindro
Modelos associados: 670, 841, 842, 844
- OS(779): Prismas

- Modelos associados:* 1446
- OS(1893): Pirâmides
- Modelos associados:* 522
- OS(784): Cilindro
- Modelos associados:* 794, 1265, 1266, 540
- OS(781): Cone
- Modelos associados:* 545
- OS(1909): Cilindro e cone
- Modelos associados:* 316, 1382, 1385
- OS(1895): Cilindro
- Modelos associados:* 525
- OS(962): Perímetros, áreas e volumes
- Modelos associados:* 1288, 1445

Com esta organização agrupámos os objectivos em seis temas diferentes:

- 1- Ângulos
- 2- Triângulos
- 3- Quadriláteros
- 4- Rectas e Planos
- 5- Áreas e Perímetros
- 6- Volumes

Após a selecção dos objectivos foi altura de se fazer uma análise por-menorizada sobre quais os objectivos que serviam de base a outros e qual o grau de proximidade entre todos os objectivos. Deste modo, construiu-se o correspondente grafo, que apresentamos na Figura 6.6.

Como já referido na secção anterior, o grafo é uma representação gráfica que fornece importantes informações sobre os objectivos, nomeadamente sobre o grau de proximidade entre eles e sua relação de dependência. Construído o grafo já temos todos os elementos necessários para a construção das matrizes A e B (que podem ser consultadas no Apêndice B - SA3Cg - Código C#).

Efectuadas as alterações na *Classe Disciplina*, seguiu-se a fase de elaboração

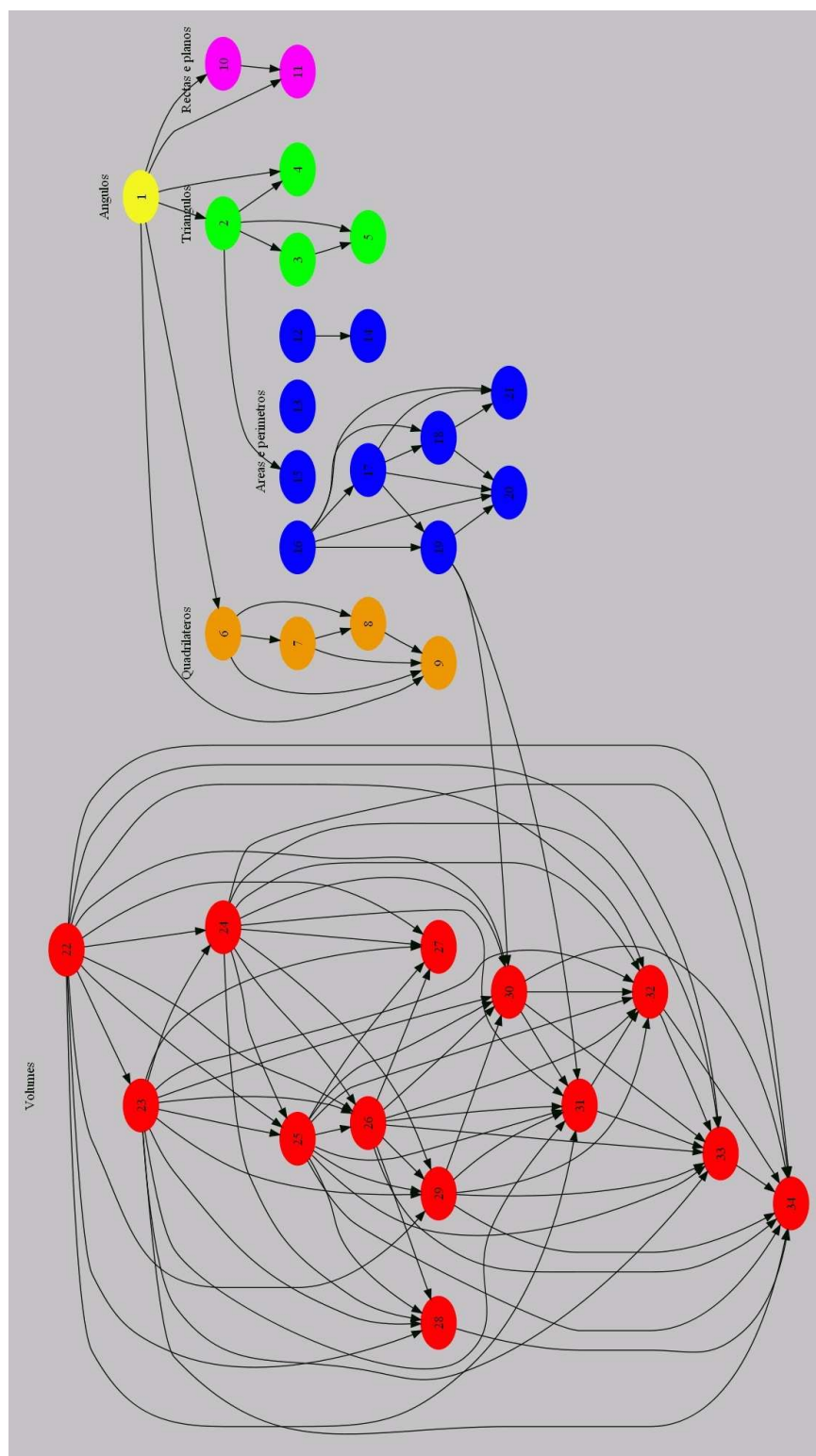


Figura 6.6: Grafo de Objectivos do SA3Cg

de um interface gráfico que fosse, de alguma forma, cativante para os alunos utilizarem a aplicação. Não esqueçamos que, essencialmente para este nível de ensino, a qualidade do interface é um factor muito importante para os alunos se sentirem mais ou menos motivados em utilizar a aplicação. No entanto, sendo a nossa primeira “criação” de um interface gráfico, muito há a aperfeiçoar. O interface que criámos é muito semelhante ao do SA3C, diferindo essencialmente na cor de apresentação, como o leitor pode constatar através da Figura 6.7.

The image shows a login window titled "SA3C - Login" with a tan background. It contains two input fields: "Utilizador:" and "Password:". Below these is an "Entrar" button. Further down is an "Informações" button. A horizontal line separates this from a text block that reads: "Se ainda não está registado clique no botão abaixo. Antes de efectuar o registo leia, por favor, as Informações." Below this text is a "Registo no sistema" button.

Figura 6.7: Janela do Login do SA3Cg

A aplicação foi colocada em fase de teste no mês de Maio, com os alunos da turma do 7ºB da Escola Secundária com 3º Ciclo do Entroncamento, escola onde me encontrava a leccionar no referente ano lectivo. A turma era composta por vinte e cinco alunos, com idades compreendidas entre os onze e os treze anos. Foi realizado, inicialmente, um inquérito aos alunos, a fim de saber se possuíam computador pessoal e acesso à Internet, e obtiveram-se os seguintes resultados: dois alunos não têm computador em casa, o que corresponde a 8% da turma; e quatro alunos, incluindo os dois alunos que não têm computador pessoal, não têm acesso à Internet, correspondente a 16% da turma (ver gráficos das Figuras 6.8 e 6.9).

Ao iniciar esta fase de teste comecei por fazer uma apresentação do projecto à turma, durante uma aula de Matemática, explicando como funcionava. O projecto encontra-se disponível no endereço <http://pmate.ua.pt/sa3cg/login.as->

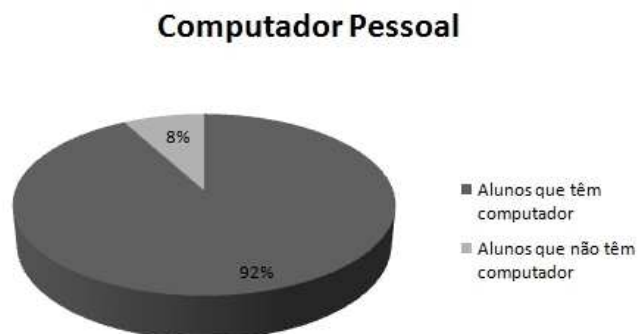


Figura 6.8:

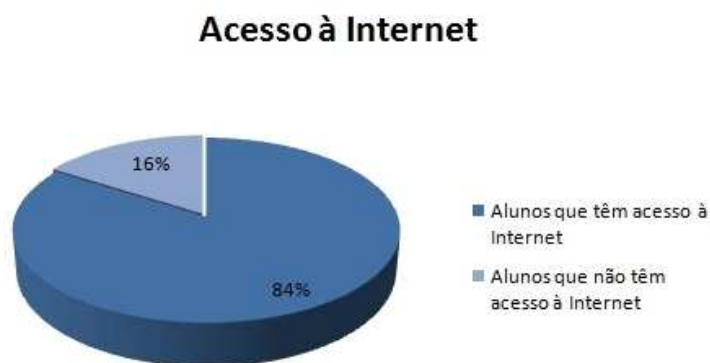


Figura 6.9:

px. A maioria dos alunos mostrou-se bastante curiosa e todos se registaram no sistema.

Feito o login, o aluno tem acesso a um quadro com os trinta e quatro objectivos e as respectivas percentagens de conhecimento demonstrado até ao momento (consultar Figura 6.10). Tal como no SA3C, o aluno tem informação do tema da próxima questão que o sistema irá apresentar e tem a possibilidade de escolher outro tema diferente, indicando apenas o número correspondente ao tema e clicar no botão *Responder à questão*.

Quando o aluno pretende sair da aplicação clica no botão *Sair do Programa* e é-lhe apresentado um quadro como o exemplo da Figura 6.11, onde constam as percentagens actuais do conhecimento demonstrado nos vários temas.

SA3C v002

Tema da próxima questão:

22 - Definição de poliedro e não poliedro

Responder à questão

Acertou: ☐

Escolher outro tema: ☐

Conhecimento → Tema

Sair do programa

100 --> 1 - Classificação de ângulos
100 --> 2 - Caracterização de um triângulo
100 --> 3 - Relação entre os comprimentos dos lados de um triângulo
100 --> 4 - Casos de igualdade de triângulos
100 --> 5 - Desigualdade triangular
100 --> 6 - Classificação de polígonos
100 --> 7 - Conceitos gerais sobre polígonos
100 --> 8 - Classificação de trapézios
100 --> 9 - Diagonais de polígonos
100 --> 10 - Posições relativas de rectas e planos
100 --> 11 - Planos paralelos e planos secantes
100 --> 12 - Área e perímetro do quadrado
100 --> 13 - Perímetro do rectângulo
100 --> 14 - Área do paralelogramo
100 --> 15 - Área do triângulo
100 --> 16 - Círculo e circunferência: noções básicas
100 --> 17 - Círculo e circunferência: terminologia
100 --> 18 - Perímetro do círculo
100 --> 19 - Área do círculo
100 --> 20 - Círculo e circunferência: aplicações/problemas
100 --> 21 - Perímetro de figuras e aplicações
50 --> 22 - Definição de poliedro e não poliedro
50 --> 23 - Caracterização de poliedros
90 --> 24 - Classificação de sólidos geométricos
50 --> 25 - Planificação de poliedros
50 --> 26 - Planificação de não poliedros
50 --> 27 - Área e volume de pirâmides
50 --> 28 - Volume de prismas
50 --> 29 - Planificação do cilindro
50 --> 30 - Volume do cilindro
50 --> 31 - Volume do cone
50 --> 32 - Área e volume do cilindro
50 --> 33 - Volume do cilindro e do cone
50 --> 34 - Perímetro, área e volume do cilindro e do paralelepípedo

Figura 6.10: Quadro de Objectivos do SA3Cg

Ao contrário do SA3C, nesta aplicação não é apresentada a classificação final indicativa do desempenho do aluno ao longo do programa. Considerou-se que, para alunos desta faixa etária, essa informação não seria muito relevante e que até poderia vir a ser um factor de desmotivação, caso o aluno não tivesse revelado um bom desempenho.

Apesar de inicialmente os alunos se terem mostrado interessados e entusiasmados com este sistema, sobretudo por ser um meio de estudo em que utilizavam as novas tecnologias, registou-se uma fraca adesão, como podemos confirmar com a análise do gráfico da Figura 6.12, relativo à frequência de utilização da aplicação. Estes dados foram recolhidos no final desta fase de experimentação, através de um inquérito realizado a todos os alunos, que o leitor pode consultar no Apêndice D.

Esta fraca adesão deveu-se a vários factores, mas essencialmente à escassez de tempo, uma vez que já estávamos a um mês do término do ano lectivo. Além de considerarmos que o tempo não foi suficiente, a altura também não foi a mais indicada, uma vez que era época de testes. Sendo época final de ano e de avaliação, muitos dos alunos tinham o acesso à Internet condicionado pelos pais. Alguns também sentiram dificuldades na instalação dos programas, mais concretamente dos componentes de visualização, não conseguindo ver as imagens associadas às questões.

Com o objectivo de colmatar estas dificuldades, tentei que os alunos utilizassem a aplicação durante as aulas, nomeadamente nas aulas de Estudo Acompanhado. Mas deparámo-nos com algumas dificuldades. Os recursos eram muito limitados (tínhamos no máximo cinco portáteis para vinte e cinco alunos) e, além disso, foi necessário pedir a colaboração de colegas do grupo de Informática da escola, para que fossem instalados os componentes de visualização, uma vez que esta tarefa era autorizada apenas aos docentes de Informática. Todo este processo levou o seu tempo, o que veio dificultar a utilização da aplicação.

No inquérito realizado no último dia de aulas, os alunos referiram algumas razões que justificavam a sua fraca adesão e quais as dificuldades que sentiram durante esta fase de teste. As razões e dificuldades apontadas pelos alunos vão de encontro ao referido atrás, pouco tempo disponibilizado, época de testes e dificuldades na instalação dos componentes de visualização necessários ao

SA3C - Sair

Até à próxima!

Conhecimento actual:

```
100 --> 1 - Classificação de ângulos
100 --> 2 - Caracterização de um triângulo
100 --> 3 - Relação entre os comprimentos dos lados de um triângulo
100 --> 4 - Casos de igualdade de triângulos
100 --> 5 - Desigualdade triangular
100 --> 6 - Classificação de polígonos
100 --> 7 - Conceitos gerais sobre polígonos
100 --> 8 - Classificação de trapézios
100 --> 9 - Diagonais de polígonos
100 --> 10 - Posições relativas de rectas e planos
100 --> 11 - Planos paralelos e planos secantes
100 --> 12 - Área e perímetro do quadrado
100 --> 13 - Perímetro do rectângulo
100 --> 14 - Área do paralelogramo
100 --> 15 - Área do triângulo
100 --> 16 - Círculo e circunferência: noções básicas
100 --> 17 - Círculo e circunferência: terminologia
100 --> 18 - Perímetro do círculo
100 --> 19 - Área do círculo
100 --> 20 - Círculo e circunferência: aplicações/problemas
100 --> 21 - Perímetro de figuras e aplicações
80 --> 22 - Definição de poliedro e não poliedro
100 --> 23 - Caracterização de poliedros
100 --> 24 - Classificação de sólidos geométricos
100 --> 25 - Planificação de poliedros
100 --> 26 - Planificação de não poliedros
100 --> 27 - Área e volume de pirâmides
100 --> 28 - Volume de prismas
100 --> 29 - Planificação do cilindro
100 --> 30 - Volume do cilindro
100 --> 31 - Volume do cone
100 --> 32 - Área e volume do cilindro
100 --> 33 - Volume do cilindro e do cone
100 --> 34 - Perímetro, área e volume do cilindro e do paralelepípedo
```

Figura 6.11: Quadro com o conhecimento actual nos temas do SA3Cg

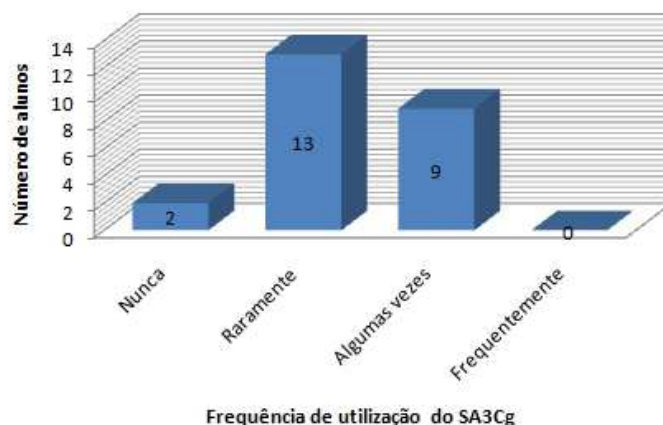


Figura 6.12: Gráfico relativo à frequência de utilização do SA3Cg

programa.

No entanto, todos os alunos referiram que o programa era um bom instrumento de apoio ao estudo e deixaram algumas sugestões que consideraram relevantes para um melhor funcionamento do programa: uma cor de fundo mais viva, música de fundo, uma opção com jogos matemáticos e, relativamente à fase de registo dos utilizadores, salientaram o facto de ser importante que existisse uma opção para colocar o e-mail, para que a password fosse automaticamente enviada para o e-mail do utilizador e pudesse ser consultada sempre que necessário (útil em caso de esquecimento).

Dadas as dificuldades com que nos deparámos, não foi possível fazer um estudo conclusivo sobre a aplicabilidade do programa e sua relevância na aprendizagem, esperando-se que seja objecto de estudo num trabalho futuro.

3 Reflexões

Este sistema de ensino assistido por computador pretende ser uma ferramenta adaptável ao ritmo de aprendizagem de cada aluno, começando por temas simples até temas mais complexos de determinada disciplina, neste caso da disciplina de Cálculo III do Ensino Superior (SA3C) e do tema de Geometria do 7º ano de escolaridade do Ensino Básico (SA3Cg).

Estas duas aplicações propõem ao aluno um conjunto de modelos gera-

dores de questões dispostos numa grelha, orientada por temas e por níveis de dificuldade onde, através das respostas que o aluno vai dando, o sistema propõe outras, no sentido da aprendizagem individualizada. A utilização destas aplicações pretende despertar no aluno uma capacidade de raciocínio lógico e dedutivo, desenvolvendo a autonomia que lhe permite resolver e interpretar problemas de Matemática.

Tratando-se de um sistema em fase de desenvolvimento e de teste, alguns aspectos podem e devem ser aperfeiçoados, por forma a tornar mais eficaz este sistema. Um aspecto que deve ser aperfeiçoado, num próximo trabalho, é o interface gráfico, que é extremamente relevante para cativar os seus utilizadores. Um item a incluir no interface do programa pode ser, por exemplo, um gráfico de barras com os diversos temas e as correspondentes percentagens do conhecimento demonstrado, que seria actualizado após cada resposta do aluno. Deste modo, seria mais fácil o aluno aperceber-se do seu “nível de conhecimento”. Também se poderia conjugar o sistema inteligente com textos de estudo ou indicação de links, que poderiam ser sugeridos quando o aluno revelasse dificuldades em determinado tema. Uma outra proposta seria ligar o sistema inteligente aos testes de diagnóstico, isto é, usar o teste de diagnóstico como ponto de partida para a matriz de conhecimento da aplicação, em vez de ser inicializada a 50%. Assim, a aplicação era iniciada com a matriz de conhecimento personalizada a cada aluno, de acordo com os conhecimentos e dificuldades demonstradas no teste de diagnóstico.

Como foi mostrado nesta dissertação, este sistema pode perfeitamente ser adequado a outras disciplinas, bastando efectuar as devidas alterações na *Classe Disciplina*. Assim, espera-se que este tipo de sistema seja aperfeiçoado e aplicado a várias disciplinas, a fim de se tornar uma ferramenta útil e relevante no processo ensino-aprendizagem.

Bibliografia

- [1] ABE, N., E WARMUTH, M. On the computational complexity of approximating distributions by probability automata. *Machine learning* 9 (1992), 205–260.
- [2] AIRES, M. Um sistema de ensino assistido em cálculo com várias variáveis. Tese de Mestrado, Universidade de Aveiro, 2007.
- [3] BOOTH, T. L. *Sequential Machines and Automata Theory*. Wiley, 1967.
- [4] COLL, C. *O construtivismo na sala de aula*. São Paulo: Ática, 1998.
- [5] DEFCUL. Relatório de Actividades do Pólo do DEFCUL. Projecto Minerva - DEFCUL, Lisboa, 1993.
- [6] DUPONT, P., DENIS, F., E ESPOSITO, Y. Links between probabilistic automata and hidden markov models: probability distributions, learning models and induction algorithms. *Special Issue on Grammatical Inference Techniques and Applications* (2004), 1349–1371.
- [7] FLAVELL, J. H. *A psicologia do desenvolvimento de Jean Piaget*. São Paulo: Pioneira, 1988.
- [8] GONÇALVES, R. M., CENTENO, T. M., E SELLERON, G. Modelagem preditiva a partir de uma sequência de imagens de satélite utilizando autómatos celulares. *XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto 1* (2003), 975–981.
- [9] HOLLAND, J., E SKINNER, B. *A análise do comportamento*. São Paulo: Herder e EDUSP, 1969.

- [10] HOPCROFT, J., E ULLMAN, J. *Introduction to Automata Theory, Languages, and Computation*. Addison-Wesley, 1979.
- [11] HOWIE, J. *Automata and languages*. Oxford University Press, 1991.
- [12] LAFFERTY, J., MCCALLUM, A., E PEREIRA, F. *Conditional Random Fields: Probabilistic Models for Segmenting and Labeling Sequence Data* (2001), 8th International Conference on Machine Learning.
- [13] LOLLINI, P. *Didática e computador: quando e como a informática na escola*. São Paulo: Loyola, 1991.
- [14] LUCENA, M. *Um modelo de escola aberta na Internet: kidlink no Brasil*. Rio de Janeiro, Brasport, 1997.
- [15] MACHADO, A. B. Os desafios da imagem e das comunicações no ensino dos anos 90. IV Encontro “A Informática e o Ensino”, Escola Superior de Educação de Coimbra, 1992.
- [16] MACHADO, N. J. *Epistemologia didáctica: as concepções de conhecimento e inteligência e a prática docente*. São Paulo: Cortez, 1996.
- [17] MARCHIONINI, G. Hypermedia and learning: Freedom and chaos. *Educational Technology* 28 (1998).
- [18] MARCULESCU, D., MARCULESCU, R., E PEDRAM, M. *Stochastic Sequential Machine Synthesis Targeting Constrained Sequence Generation* (1996), 33rd Annual Conference on Design Automation.
- [19] MARQUES, MATTOS, E TAILLE. *Computador e Ensino*. São Paulo: Ática, 1986.
- [20] MOLL, L. C. *Vygotsky e a Educação. Implicações pedagógicas da psicologia sócio-histórica*. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996.
- [21] MUCCHIELLI, A. *O ensino por computador*. Lisboa: Editorial Notícias, 1988.
- [22] NOGUEIRA, A. Multimídia na construção do conhecimento. *Revista Tecnologia Educacional* 22 (1993).

- [23] OCDE. Relatório dos Avaliadores do Projecto Minerva. DEPGEF: Ministério da Educação, Lisboa, 1994.
- [24] OLIVEIRA, L., E MORITA, M. Introdução aos Modelos Escondidos de Markov. Programa de Pós-Graduação, Universidade Católica do Paraná, 1998.
- [25] PAZ, A. *Introduction to probabilistic automata*. Academic Press, 1971.
- [26] PMATE. Projecto Matemática Ensino. <http://pmate.ua.pt>, 2008 (acesso em Junho de 2008).
- [27] PMATE. Projecto Matemática Ensino. <http://pmate.ua.pt>, 2009 (acesso em Fevereiro de 2009).
- [28] PONTE, J. O computador como ferramenta: uma aposta bem sucedida. *Revista Inovação* 2, 1 (1989), 41–47.
- [29] PONTE, J. As novas tecnologias da informação e a formação de professores. *Noesis*, 13 (1990), 22–24.
- [30] PONTE, J. *O computador: um instrumento da educação*. Lisboa: Texto Editora, 1992.
- [31] PONTE, J. O projecto Minerva: Introduzindo as NTI na Educação em Portugal. Relatório, DEPGEF: Ministério da Educação, Lisboa, 1994.
- [32] SCHWARTZ, ALICE, B., E ALUNOS DO EPS. Meios de comunicação. Ensino à distância. UFSC, Florianópolis, 1997.
- [33] SKINNER, B. *Tecnologia do ensino*. São Paulo: EPU, 1975.
- [34] SOUTO, M., LUDERMIR, T., E OLIVEIRA, W. Equivalence between ram-based neural networks and probabilistic automata. *IEEE transactions on neural networks* 16 (2005).
- [35] SOUZA, R. Autómatos e algoritmos de busca de padrões. Instituto de Matemática e Estatística - USP, 2000.

- [36] TODOROV, J. A importância da educação à distância. *Revista Educação à Distância* (1994).
- [37] TRINDADE, A. A inovação e novas tecnologias da informação. *Revista Inovação* 1, 1 (1988), 25–28.
- [38] ULBRICHT, V. R. Modelagem cognitiva em vista da concepção do módulo avaliação do estudante de um sistema de ensino inteligente auxiliado por computador. Tese de Mestrado, UFSC, Florianópolis, 1992.
- [39] ULBRICHT, V. R. *Modelagem de um ambiente hipermídia de construção do conhecimento em geometria descritiva*. Tese de Doutorado, UFSC, Florianópolis, 1997.
- [40] VALENTE, J. A. *Computadores e Conhecimento: repensando a educação*. Campinas: Unicamp, 1998.
- [41] VYGOTSKY, L. *A formação social da mente*. São Paulo: Martins Fontes, 1984.
- [42] VYGOTSKY, L. *Pensamento e linguagem: Psicologia e pedagogia*. São Paulo: Martins Fontes, 1987.
- [43] WADSWORTH, B. J. *Inteligência e afetividade da criança na teoria de Jean Piaget*. São Paulo: Pioneira, 1992.
- [44] WILBERGER, M. Introduction to cellular automata for modeling and simulation. SCS, Istanbul, Turkey, 1996.

Apêndice A

SA3C - Código C#

```
{\bf \% File "ClasseDisciplina.cs"

using System;

namespace sa3c
{
    /// <summary>
    /// Summary description for ClasseDisciplina.
    /// </summary>
    public class ClasseDisciplina
    {
        const int SizeMatr = 51;

        // número total de objectivos secundários no sistema
        public int numobj = 41;

        // teste
        public int vardisc = 1234;

        // valores para proximidades entre objectivos secundários
        const int px= 15, pd=3, pn=0; // constantes para iniciar A
        int pmin,pmed,pmax; // variáveis inicializadas com os valores das constantes
        que depois vão sendo alteradas

        // NOTA: Estão com proximidade máxima os objectivos no mesmo tema e com proximidade
        média os que estão em temas vizinhos.
        //      Com esta organização não seria preciso uma matriz com entradas para cada
        objectivo. No entanto a ideia é o programa ficar versátil
        //      e permitir definir separadamente a proximidade entre cada par de objectivos.

        // NOTA2: Para alterar as matrizes A e B usar o WinEdt no modo block;
        em A (simétrica) ha grupos de linhas iguais e grupos de colunas iguais.

        public int[,] A =
```



```

2222,2225,2228,2233,2242,
2243,2245,2272,2276,2295,
2303,2345,2352,2353,2354,
2355,2399,2357,2358,2359,
2360,2361,2400,2363,2365,
2366,2367,2370,2371,2372,
2373,2375,2376,2377,2378,
2384};

// Temas -> lista de temas ----- INICIO
// À excepção dos nomes dos temas, esta informação é de facto redundante pois
estão no mesmo tema os objectivos que estão mais próximos, informação em A

public string[] Temas = { "",
    "Topologia e continuidade",
    "Derivadas e extremos",
    "Integrais duplos",
    "Integrais triplos",
    "Integrais de linha",
    "Integrais de superfície"
};

// TemaObj -> Objectivos em cada tema (posição 0 = número de objectivos no tema)

public int[,] TemaObj = {
    {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
    {9, 1, 2, 3, 4, 5, 9, 12, 13, 14},
    {8, 6, 7, 8, 10, 11, 15, 16, 17, 0},
    {5, 18, 19, 20, 21, 22, 0, 0, 0, 0},
    {6, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 0, 0, 0},
    {7, 29, 30, 31, 32, 33, 40, 41, 0, 0},
    {6, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 0, 0, 0}
};

// ObjTema -> criado a partir de TemaObj, tema de cada objectivo

public int[] ObjTema;

// Temas -> lista de temas ----- FIM

// Designação dos objectivos secundários

public string[] Indentif = { "",
/* 1 */ " 1 - Domínios e gráficos de f.v.v.",
/* 2 */ " 2 - Limites",
/* 3 */ " 3 - Continuidade num ponto",
/* 4 */ " 4 - Teorema de Weierstrass",

```

```

/* 5 */      " 5 - Limites e continuidade de f.v.v. reais",
/* 6 */      " 6 - Função de classe  $C^k$ ",
/* 7 */      " 7 - O vector gradiente",
/* 8 */      " 8 - Derivadas direccionais",
/* 9 */      " 9 - Continuidade num ponto (f. vectoriais)",
/* 10 */     "10 - Derivada da função composta",
/* 11 */     "11 - Diferenciabilidade",
/* 12 */     "12 - Noção de distância em  $R^n$ ",
/* 13 */     "13 - Conjuntos abertos e fechados",
/* 14 */     "14 - Conjuntos limitados e compactos",
/* 15 */     "15 - Fórmula de Taylor de ordem 2 para uma função dada",
/* 16 */     "16 - Extremos locais de uma função real de várias variáveis",
/* 17 */     "17 - Função implícita real de diversas variáveis",
/* 18 */     "18 - Integrais duplos - Definição",
/* 19 */     "19 - Integrais duplos- Propriedades",
/* 20 */     "20 - Mudança do integral duplo para o integral simples",
/* 21 */     "21 - Integrais duplos - Mudança de variável",
/* 22 */     "22 - Integrais duplos - Questões diversas",
/* 23 */     "23 - Integrais triplos - Definição",
/* 24 */     "24 - Integrais triplos - Propriedades",
/* 25 */     "25 - Mudança do integral triplo para o integral simples",
/* 26 */     "26 - Integrais triplos - Mudança de variável",
/* 27 */     "27 - Integrais triplos - Aplicações",
/* 28 */     "28 - Integrais triplos - Questões diversas",
/* 29 */     "29 - Campos no plano e no espaço - Campos no espaço",
/* 30 */     "30 - Integrais de linha no plano - Integral de uma função real",
/* 31 */     "31 - Integrais de linha no plano - Aplicações do integral",
/* 32 */     "32 - Integrais de linha no plano - Integral de um campo no plano",
/* 33 */     "33 - Integrais de linha no plano - Teorema de Green",
/* 34 */     "34 - Parametrizações de superfícies",
/* 35 */     "35 - Integral de superfície de funções reais",
/* 36 */     "36 - Fórmula de cálculo do integral de superfície",
/* 37 */     "37 - Integral de superfície de campos no espaço",
/* 38 */     "38 - Aplicações do integral de superfície de campos no espaço",
/* 39 */     "39 - Teorema da divergência ou de Gauss",
/* 40 */     "40 - Integrais de linha no espaço e Teorema de Stokes",
/* 41 */     "41 - Integrais de linha no espaço e Teorema de Stokes",
};

```

// Modelos em cada objectivo secundário

```

public int[,] ModOS = {
/* 1 */      {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
/* 2 */      {3, 916, 934, 935, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
/* 3 */      {1, 979, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
/* 4 */      {1, 946, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
/* 5 */      {1, 912, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
/* 6 */      {2, 983, 1072, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
/* 7 */      {1, 940, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
/* 8 */      {1, 884, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},

```



```

/* 8 */      {2, 911,    915,    0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
/* 9 */      {1, 941,    0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
/* 10 */     {3, 914,    939,    944,    0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
/* 11 */     {1, 883,    0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
/* 12 */     {1, 888,    0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
/* 13 */     {2, 885,    887,    0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
/* 14 */     {1, 886,    0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
/* 15 */     {1, 943,    0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
/* 16 */     {1, 912,    0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
/* 17 */     {1, 913,    0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
/* 18 */     {2, 1194,   1195,    0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
/* 19 */     {1, 1167,    0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
/* 20 */     {2, 1165,   1166,    0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
/* 21 */     {1, 1168,    0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
/* 22 */     {1, 1119,    0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
/* 23 */     {1, 1220,    0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
/* 24 */     {1, 1186,    0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
/* 25 */     {1, 1187,    0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
/* 26 */     {1, 1221,    0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
/* 27 */     {1, 1213,    0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
/* 28 */     {1, 1193,    0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
/* 29 */     {2, 1008,   1013,    0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
/* 30 */     {2, 1005,   1006,    0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
/* 31 */     {1, 1040,    0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
/* 32 */     {2, 1041,   1118,    0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
/* 33 */     {3, 1042,   1146,   1147,    0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
/* 34 */     {2, 983,    1072,    0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
/* 35 */     {2, 991,    992,    0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
/* 36 */     {1, 1011,    0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
/* 37 */     {4, 993,    994,   1010,   1014,    0, 0, 0, 0, 0, 0},
/* 38 */     {1, 1071,    0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
/* 39 */     {2, 1012,   1073,    0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
/* 40 */     {1, 995,    0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
/* 41 */     {2, 982,   1009,    0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0}

```

```
};
```

```

// "conhecimento" = conhecimento a atingir em cada objectivo
public int conhecimento = 90;

```

```

// número de objectivos não atingidos tolerados para paragem
public int tolerância = 35;

```

```

public ClasseDisciplina()
{
    int pmin = pn; pmed=pd; pmax=px;

```

```

// Inicia ObjTema - OS TEMAS NÃO ESTÃO A SER USADOS
ObjTema = new int[SizeMatr];
int i,l,t,j;
for (l=1; l<=numobj;l++)

```

```

        {
            t=0;
            i=1;
            while (t==0)
            {
                j=1;
                while(t==0 && j<=TemaObj[i,0])
                {
                    if (1 == TemaObj[i,j] ) t=i;
                    j++;
                }
                ObjTema[1] = t;
                i++;
            }
        }

        //
        // TODO: Add constructor logic here
        //
    }

    public double[] IniciaP()
    {
        return P_0;
    }

    public string Strvardisc()
    {
        return vardisc.ToString();
    }
}
}

```

// Esta classe, ClasseAluno, tem tudo o que tem a ver com controle. Os conteúdos ficam // na classe ClasseDisciplina. Assim, para alterar o conteúdo deve apenas alterar-se a // classe ClasseDisciplina sem ser preciso mudar nada nesta.

// Para inserir modelo é preciso alterar apenas "Mod0s"
 // Para inserir objectivo é preciso alterar: A, B, I, Mod0s, Identif, TemaObj

using System;

namespace sa3c

```

{

/// <summary>
/// Summary description for ClasseAluno.
/// </summary>
public class ClasseAluno
{
ClasseDisciplina Dis;

public const int SizeMatr = 51;

// Declaração das variáveis globais

double[] P;
public int[] C;
int[] V;

// OBJ-> índice do objectivo secundário actual
public int OBJ;

// IdModelo -> Id do próximo modelo
public int IdModelo;

// pesos relativos entre "C-> conhecimento", "V-> permanência", "A-> proximidade",
// "B-> bases"
double pesoC = 10.0, pesoV = 0.0, pesoA = 90.0, pesoB = 0.0;

// incrementos ao conhecimento conforme o número de respostas correctas
int resp4 = 20, resp3 = 10, resp2 = 0, resp1 = -10, resp0 = -20;

// variável com o valor lógico da condição de paragem
int terminar = 0; // false

// número total de passagens no ciclo
int contador = 0;

// número de objectivos atingidos
int objating;

// Objecto para os números aleatórios
Random Aleat;

// parâmetros para a função PARAMETROS, a qual actualiza os parâmetros para
// o cálculo das probabilidades
int tema_perc_min=90; // conhecimento mínimo em cada objectivo do tema
int perm_max = 3; // máximo de permanência no tema = perm_max * (num obj do tema)
double tema_con_min = 0.6; // percentagem de objectivos exigida no tema
double con_alto = 0.6; // percentagem de objectivos com conhecimento mínimo
// para considerar o conhecimento na disciplina elevado
// decidindo então aumentar pesoC e não pesoV
public int con_aceit = 80; // conhecimento considerado aceitável para paragem

```

```

string DetMode = "0"; //Pode ser "0", "A" ou "B". Se não é zero a matriz determina
                        //o conjunto de onde vai ser escolhido o próximo objectivo
double bases_min = 0.7; // Percentagem de bases para o objectivo actual exigida

public ClasseAluno(ClasseDisciplina Dis)
{
//
// TODO: Add constructor logic here
//
// Variáveis auxiliares
int aux;
int i;
double N;
int semente;
double k;
int classif;

Aleat = new Random();

C = new int[SizeMatr];

// iniciar C-> conhecimento
for (i= 1; i <= Dis.numobj; ++i)
C[i] = 50;

// iniciar V-> permanência

V = new int[SizeMatr];

for (i=1; i <= Dis.numobj; ++i)
V[i]= 0;

// iniciar P-> P(i)=probabilidade de ser seleccionado o objectivo secundário i

P = new double[SizeMatr];

P = Dis.IniciaP();

//Escolhe, aleatoriamente com base em P, um objectivo (número entre 1 e numobj)

N = (double) Aleat.Next(0,10000) / 10000;
OBJ =1;
k = P[OBJ];
while (N > k)
{
OBJ=OBJ+1;
k = k + P[OBJ];
}

IdModelo = (int) Dis.ModOS[OBJ,Aleat.Next(1,Dis.ModOS[OBJ,0])];

```

```

} // fim de ClasseAluno()

// Funcao Resp - é chamada após cada resposta do aluno - actualiza tudo

public void Resp(ClasseDisciplina Dis, int classif)
{
    int aux;

    // actualização do vector "permanência"
    V[OBJ] = V[OBJ]+1;

    // actualização do vector "conhecimento"
    if (classif == 4)
        C[OBJ] = min(C[OBJ]+resp4,100);
    else if (classif == 3)
        C[OBJ] = min(C[OBJ]+resp3,100);
    else if (classif == 2)
        C[OBJ] = C[OBJ]+resp2;
    else if (classif == 1)
        C[OBJ] = max(C[OBJ]+resp1,0);
    else if (classif == 0)
        C[OBJ] = max(C[OBJ]+resp0,0);

    // actualizar parâmetros
    aux = PARAMETROS(Dis);

    // actualizar probabilidades
    aux = PROBABILIDADES(Dis);

    // transição para novo objectivo
    OBJ = TRANSICAO(Dis);

    // escolhe novo modelo com objectivo OBJ
    IdModelo = SetIdModelo(Dis);
}

private int min(int n, int m)
{
    if (n > m)
        return m;
    else
        return n;
}

private int max(int n, int m)
{
    if (n > m)
        return n;
    else

```

```

return m;
}

public string StrConhec(ClasseDisciplina Dis)
{
    string aux;
    int i;

    aux = "";

    for (i=1; i<=Dis.numobj; i++)
    {
        if (C[i] == 100)
            aux = aux + C[i].ToString() + " --> " + Dis.Indentif[i] + "\n";
        else if (C[i] == 0)
            aux = aux + C[i].ToString() + " --> " + Dis.Indentif[i] + "\n";
        else
            aux = aux + C[i].ToString() + " --> " + Dis.Indentif[i] + "\n";
    }
    return aux;
}

public string StrConhecTema(ClasseDisciplina Dis)
{
    string aux;
    int i;

    aux = "";

    for (i=1; i<=Dis.numobj; i++)
    {
        if (Dis.ObjTema[OBJ] == Dis.ObjTema[i])
            aux = aux + C[i].ToString() + " ";
    }
    return aux;
}

public string StrOBJ(ClasseDisciplina Dis)
{
    return Dis.I[OBJ].ToString();
}

public string StrIdModelo(ClasseDisciplina Dis)
{
    return IdModelo.ToString();
}

public int RetIdModelo(ClasseDisciplina Dis)
{
    return IdModelo;
}

```

```

public int SetIdModelo(ClasseDisciplina Dis)
{
return (int) Dis.ModOS[OBJ,Aleat.Next(1,Dis.ModOS[OBJ,0]+1)];
}

public string StrObjating(ClasseDisciplina Dis)
{
return objating.ToString();
}

public string Objectivo(ClasseDisciplina Dis)
{
return Dis.Indentif[OBJ];
}

public string Tema(ClasseDisciplina Dis)
{
return Dis.Temas[Dis.ObjTema[OBJ]];
}

public string StrDisvardisc(ClasseDisciplina Dis)
{
return Dis.vardisc.ToString();
}

public int Terminar(ClasseDisciplina Dis)
{
// atualiza variável de paragem "terminar"
int i;

for (i=1; i <= Dis.numobj; i++)
if (C[i] >= Dis.conhecimento)
objating = objating + 1;

if (objating > Dis.numobj - Dis.tolerancia)
// Environment.Exit(...);
return 1;
else
return 0;
}

// -----
// FUNÇÃO PARAMETROS
//
// Atualiza os parâmetros usados no calculo das probabilidades:

```

```

public int PARAMETROS(ClasseDisciplina Dis)
{

    int tema = Dis.ObjTema[OBJ];
    int csta; // número de objectivos com conhecimento satisfatório no tema actual
    int cs; // número de objectivos com conhecimento satisfatório na disciplina
    int pta; // permanência total no tema actual

    int cbas; // conhecimento nas bases do objectivo actual
    int nbas; // número de objectivos base do tema actual

    int i;

    csta = 0; pta = 0; cs =0; cbas=0; nbas=0;

    for(i=1; i<=Dis.TemaObj[tema,0]; i++)
    {
        pta = pta + V[Dis.TemaObj[tema,i]];
        if(C[Dis.TemaObj[tema,i]]>=tema_perc_min) csta=csta+1;
    }

    for(i=1; i<=Dis.numobj; i++)
    {
        if (C[i] >= tema_perc_min) cs = cs+1;
    }

    for(i=1; i<=Dis.numobj; i++)
    {
        if (Dis.B[i,OBJ] == 1)
        {
            nbas++;
            cbas = cbas + C[i];
        }
    }

    if (csta < tema_con_min*Dis.TemaObj[tema,0]) //Conhecimento no tema actual
                                                //baixo
    {
        if (pta>perm_max*Dis.TemaObj[tema,0]) //Permanência no tema actual alta
        {
            if (cbas <= bases_min * nbas*100) //Conhecimento baixo nas bases do
                                                //tema actual
            {
                pesoC=40.0; pesoV=20.0; pesoA=30.0; pesoB=10.0; DetMode = "B";
            }
            else
                // Conhecimento alto nas bases do tema
                //actual
            {
                pesoC=40.0; pesoV=30.0; pesoA=10.0; pesoB=20.0; DetMode ="A";
            }
        }
    }
}

```



```

    }
    else //Permanência no tema actual baixa
    {
        pesoC=40.0; pesoV=30.0; pesoA=10.0; pesoB=20.0; DetMode ="A";
    }
    }
    else // Conhecimento no tema actual alto
    if (cs >= con_alto * Dis.numobj) // Conhecimento na disciplina alto
    {
        pesoC=80.0; pesoV=10.0; pesoA=10.0; pesoB=0.0; DetMode ="0";
    }
    else // Conhecimento na disciplina baixo
    {
        pesoC=70.0; pesoV=20.0; pesoA=10.0; pesoB=0.0; DetMode ="A";
    }
    return(1);
}

// -----
// FUNÇÃO PROBABILIDADES
// %
// Actualiza o vector P com base em A, B, C e V

public int PROBABILIDADES(ClasDisciplina Dis)
{
    // Actualiza probabilidades: vector P.
    // Usa variáveis globais: P, A, B, C, V, numobj;

    int[] Anum;
    int[] Bnum;
    int[] Cnum;
    int[] Vnum;

    int SomaA, SomaB, SomaC, SomaV, totA, totB, totC,totV;
    int i,maxv;

    if (DetMode == "0")
    {
        // contribuição de A: Anum / totA
        Anum = new int[SizeMatr];
        SomaA = 0;
        for (i=1; i <= Dis.numobj; ++i)
        {
            Anum[i] = Dis.A[OBJ,i];
            SomaA = SomaA + Dis.A[OBJ,i];
        }
        totA = SomaA;

        // contribuição de B: Bnum / totB
        // esta contribuição leva a que se recue pelas arestas que terminam em OBJ
        // no grafo dirigido contido em B

```

```

Bnum = new int[SizeMatr];
SomaB =0;
for (i=1; i <= Dis.numobj; ++i)
{
SomaB = SomaB + Dis.B[i,OBJ];
Bnum[i] = Dis.B[i,OBJ]; // os que são base para OBJ ficam com peso 1
// os outros ficam com peso 0
}
totB = SomaB; // i é sempre base para i, por isso totB nunca é 0

// contribuição de C: Cnum / totC
Cnum = new int[SizeMatr];
SomaC =0;
for (i=1; i <= Dis.numobj; ++i)
{
Cnum[i] = 100-C[i];
SomaC =SomaC + C[i];
}
totC = 100*Dis.numobj-SomaC;

// contribuição de V: Vnum / totV
// SomaV -> contém a soma do vector V
Vnum = new int[SizeMatr];
SomaV=0;
maxv =0;
for (i=1; i <= Dis.numobj; ++i)
{
SomaV = SomaV + V[i];
if (V[i] > maxv) maxv = V[i];
}
for (i=1; i <= Dis.numobj; ++i)
Vnum[i] = maxv - V[i];
totV = maxv*Dis.numobj-SomaV;
}

else if (DetMode == "A") // só vão ter probabilidade não nula os que estão perto
{ // de OBJ, ou seja, a distância não nula
// contribuição de A: Anum / totA
Anum = new int[SizeMatr];
SomaA = 0;
for (i=1; i <= Dis.numobj; ++i)
{
Anum[i] = Dis.A[OBJ,i];
SomaA = SomaA + Dis.A[OBJ,i];
}
totA = SomaA;

// contribuição de B: Bnum / totB
// esta contribuição leva a que se recue pelas arestas que terminam em OBJ
// no grafo dirigido contido em B
Bnum = new int[SizeMatr];

```

```

SomaB =0;
for (i=1; i <= Dis.numobj; ++i)
{
if (Anum[i] > 0) // apenas para estes objectivos vamos ter Bnum positivo
{ // e a soma em totB
SomaB = SomaB + Dis.B[i,OBJ];
Bnum[i] = Dis.B[i,OBJ]; // os que são base para OBJ ficam com peso 1
// os outros ficam com peso 0
}
}
totB = SomaB; // i é sempre base para i, por isso totB nunca é 0

// contribuição de C: Cnum / totC
Cnum = new int[SizeMatr];
SomaC =0;
totC=0;
for (i=1; i <= Dis.numobj; ++i)
{
if (Anum[i] > 0)
{
Cnum[i] = 100-C[i];
SomaC =SomaC + C[i];
totC++;
}
}
totC = 100*totC-SomaC;

// contribuição de V: Vnum / totV
// SomaV -> contém a soma do vector V
Vnum = new int[SizeMatr];
SomaV=0;
maxv =0;
totV=0;
for (i=1; i <= Dis.numobj; ++i)
{
if (Anum[i] > 0)
{
SomaV = SomaV + V[i];
if (V[i] > maxv) maxv = V[i];
totV++;
}
}
for (i=1; i <= Dis.numobj; ++i)
if (Anum[i] > 0)
{
Vnum[i] = maxv - V[i];
}
totV = maxv*totV-SomaV;
}
else // if (DetMode == "B")

```

```

{
// contribuição de B: Bnum / totB
// esta contribuição leva a que se recue pelas arestas que terminam em OBJ
// no grafo dirigido contido em B
Bnum = new int[SizeMatr];
SomaB =0;
for (i=1; i <= Dis.numobj; ++i)
{
SomaB = SomaB + Dis.B[i,OBJ];
Bnum[i] = Dis.B[i,OBJ]; // os que são base para OBJ ficam com peso 1
// os outros ficam com peso 0
}
totB = SomaB; // i é sempre base para i, por isso totB nunca é 0

// contribuição de A: Anum / totA
Anum = new int[SizeMatr];
SomaA = 0;
for (i=1; i <= Dis.numobj; ++i)
{
if (Bnum[i]>0)
{
Anum[i] = Dis.A[OBJ,i];
SomaA = SomaA + Dis.A[OBJ,i];
}
}
totA = SomaA;

// contribuição de C: Cnum / totC
Cnum = new int[SizeMatr];
SomaC =0;
totC=0;
for (i=1; i <= Dis.numobj; ++i)
{
if (Bnum[i]>0)
{
Cnum[i] = 100-C[i];
SomaC =SomaC + C[i];
totC++;
}
}
totC = 100*totC-SomaC;

// contribuição de V: Vnum / totV
// SomaV -> contém a soma do vector V
Vnum = new int[SizeMatr];
SomaV=0;
maxv =0;
totV=0;
for (i=1; i <= Dis.numobj; ++i)
{

```

```

if (Bnum[i]>0)
{
SomaV = SomaV + V[i];
if (V[i] > maxv) maxv = V[i];
totV++;
}
}
for (i=1; i <= Dis.numobj; ++i)
if (Bnum[i]>0)
{
Vnum[i] = maxv - V[i];
}
totV = maxv*totV-SomaV;
}

// Actualização das probabilidades
double parcA, parcB, parcC, parcV;
for (i=1; i <= Dis.numobj; ++i)
{
if (totA == 0)
parcA = 0;
else
parcA = (pesoA*Anum[i])/(100*totA);

if (totB == 0)
parcB = 0;
else
parcB = (pesoB*Bnum[i])/(100*totB);

if (totC == 0)
parcC = 0;
else
parcC = (pesoC*Cnum[i])/(100*totC);

if (totV == 0)
parcV = 0;
else
parcV = (pesoV*Vnum[i])/(100*totV);

P[i]= parcA + parcB + parcC + parcV;
}
return(1);
}
// Fim: FUNÇÃO PROBABILIDADES

// -----
// FUNÇÃO TRANSIÇÃO
//
// Escolhe, aleatoriamente com base em P, um objectivo (número entre 1 e numobj)
public int TRANSICAO(ClasseDisciplina Dis)
{

```

```

// Usa variável global P, devolve novo índice de objectivo

double N;
double k;
int I = 1, tudo100, j;
int aux;

// N = rand()*1.0/RAND_MAX; /* número aleatório entre 0 e 1 */

N = (double)Aleat.Next(0,10001) / 10000;

k = P[I];
while (N > k && I < Dis.numobj)
{
    I=I+1;
    k = k + P[I];
}

if (I==Dis.numobj && N > k) // algo correu mal :-
{
    DetMode = "0";
    // actualizar probabilidades
    aux = PROBABILIDADES(Dis);
    // transição para novo objectivo
    return(TRANSICAO(Dis));
}

// vê se todos os que podem ser escolhidos estão com conhecimento 100
tudo100 = 1;
j = 1;
while (tudo100 == 1 && j <= Dis.numobj)
{
    if (P[j]>0 && C[j]<100)
        tudo100 = 0;
    j++;
}

// se não estão, força a escolha de um objectivo que não tenha já
// conhecimento 100
if (tudo100 == 0)
{
    while (C[I] == 100)
    {
        N = (double)Aleat.Next(0,10001) / 10000;
        I=1;
        k = P[I];
        while (N > k && I < Dis.numobj)
        {
            I=I+1;
            k = k + P[I];
        }
    }
}

```

```

    }
    if (I==Dis.numobj && N > k) // algo correu mal :-)
    {
        DetMode = "0";
        // actualizar probabilidades
        aux = PROBABILIDADES(Dis);
        // transição para novo objectivo
        return(TRANSICAO(Dis));
    }
    }
    }

    return I;
}
// Fim: FUNÇÃO TRANSIÇÃO

// Recupera para os vectores C e V os valores guardados da última sessão
public int recupera(ClasseDisciplina Dis, int[] tC, int[] tV)
{
    int i;

    for (i=1; i<=Dis.numobj; i++)
    {
        C[i] = tC[i];
        V[i] = tV[i];
    }

    return(1);
}

// devolve conhecimento
public int[] Conhecimento()
{
    return C;
}

// devolve permanência
public int[] Permanência()
{
    return V;
}

public int EscolheOutroObj(ClasseDisciplina Dis, int o)
{
    OBJ = o;
    // escolhe novo modelo com objectivo OBJ
    IdModelo = SetIdModelo(Dis);
    return(OBJ);
}
}
}
}

```


SA3Cg - Código C#

143

[illegible]


```

public int[] I = {0, 666, 1910, 620, 1818, 1825,
                  1906, 1911, 610, 583, 671,
                  1796, 757, 754, 2069, 747,
                  2077, 628, 755, 1899, 2281,
                  2101, 1791, 615, 617, 600,
                  604, 1893, 779, 602, 784,
                  781, 1895, 1909, 962};

// Temas -> lista de temas

public string[] Temas = {
    "",
    "Ângulos",
    "Triângulos",
    "Quadriláteros",
    "Rectas e Planos",
    "Áreas e Perímetros",
    "Volumes"
};

// TemaObj -> Objectivos em cada tema (posição 0 = número de objectivos no tema)

public int[,] TemaObj = {
    {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
    {1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
    {4, 2, 3, 4, 5, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
    {4, 6, 7, 8, 9, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
    {2, 10, 11, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
    {10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 0, 0, 0},
    {13, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34}
};

// ObjTema -> criado a partir de TemaObj, tema de cada objectivo

public int[] ObjTema;

// Designação dos objectivos secundários
public string[] Indentif = {
    "",
    " 1 - Classificação de ângulos",
    " 2 - Caracterização de um triângulo",
    " 3 - Relação entre os comprimentos dos lados de um triângulo",
    " 4 - Casos de igualdade de triângulos",
    " 5 - Desigualdade triangular",
    " 6 - Classificação de polígonos",
    " 7 - Conceitos gerais sobre polígonos",
    " 8 - Classificação de trapézios",
    " 9 - Diagonais de polígonos",

```

```

"10 - Posições relativas de rectas e planos",
"11 - Planos paralelos e planos secantes",
"12 - Área e perímetro do quadrado",
"13 - Perímetro do rectângulo",
"14 - Área do paralelogramo",
"15 - Área do triângulo",
"16 - Círculo e circunferência: noções básicas",
"17 - Círculo e circunferência: terminologia",
"18 - Perímetro do círculo",
"19 - Área do círculo",
"20 - Círculo e circunferência: aplicações/problemas",
"21 - Perímetro de figuras e aplicações",
"22 - Definição de poliedro e não poliedro",
"23 - Caracterização de poliedros",
"24 - Classificação de sólidos geométricos",
"25 - Planificação de poliedros",
"26 - Planificação de não poliedros",
"27 - Área e volume de pirâmides",
"28 - Volume de prismas",
"29 - Planificação do cilindro",
"30 - Volume do cilindro",
"31 - Volume do cone",
"32 - Área e volume do cilindro",
"33 - Volume do cilindro e do cone",
"34 - Perímetro, área e volume do cilindro e do paralelepípedo"
};

// Modelos em cada objectivo secundário

public int[,] ModOS = {
    {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
    {3, 491, 492, 498, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
    {2, 1454, 328, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
    {3, 823, 838, 897, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
    {2, 410, 509, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
    {2, 500, 502, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
    {2, 363, 544, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
    {2, 1327, 1354, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
    {2, 1296, 1351, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
    {1, 548, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
    {1, 511, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
    {1, 490, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
    {3, 1282, 319, 357, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
    {2, 321, 358, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
    {2, 851, 852, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
    {3, 856, 857, 858, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
    {1, 681, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
    {5, 493, 672, 673, 674, 676, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
    {5, 683, 957, 1007, 1125, 1126, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
    {1, 849, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
    {1, 850, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},

```

```

{7, 687, 745, 898, 899, 902, 1038, 904, 0, 0, 0},
{1, 791, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
{5, 541, 918, 1059, 1495, 485, 0, 0, 0, 0, 0},
{3, 919, 954, 1372, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
{1, 988, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
{1, 843, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
{1, 522, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
{1, 1446, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
{4, 670, 841, 842, 844, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
{4, 794, 1265, 1266, 540, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
{1, 545, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
{1, 525, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
{3, 316, 1382, 1385, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
{2, 1288, 1445, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0}
};

...

}

}

```


Apêndice C

Tabelas

CONCURSOS	ANO	€
CCOMP	1997	1 362 652,02
	1998	342 175,36
	2002	40 000,00
	2003	414 000,00
Sub-total		2 158 827,38
PROJECTOS DE ESCOLAS	1997	5 590 463,62
	1998	7 429 075,93
Sub-total		13 019 539,55
Comparticipação Comunitária		2 242 470,95
	1997/2001	
Projectos de Informação (Internet)		1 229 697,93
	1997	
Mat. Apoio Utilização Educativa	1998	21 947,11
		8 978,36
Sub-total		30 925,47
	2001	
Materiais de Apoio à Revisão Curricular		293 274,20
	1997/2001	
Software Educacional	2001	174 579,26
Projectos de Desenv. de Software		252 890,53
Sub-total		427 469,79
Comparticipação Comunitária de Conteúdos		191 842,46
	2000	
APOIO À EDIÇÃO	2001	35 625,18
	2002	15 520,10
	2003	99 759,59
		131 250,00
Sub-total		282 154,85
Software para a Gestão	1997	10 973,55
Organização de Congressos	1997/1999	59 356,95
Participação Congressos	1997/1999	21 343,29
TOTAL GERAL		17 533 562,97

Figura C.1: Quadro de financiamentos do Programa Nónio Século XXI

ACTIVIDADES	Investimento/ano (%)		
	1º	2º	3º
I – Formação básica de professores:			
- Facultar módulos de formação técnico-pedagógica de introdução à utilização do computador nos quais serão abordados conteúdos ligados ao "hardware", aos diferentes tipos de "software" e às interfaces, bem como o trabalho com os principais tipos de programas e ferramentas (processador de imagem, processador de texto, folha de cálculo e base de dados);	30	10	5
- Proporcionar formação na utilização pedagógica de ferramentas e programas educativos com os alunos no âmbito de várias disciplinas curriculares, incentivando a experimentação e a elaboração de guiões e relatórios no sentido de partilhar e divulgar resultados;	15	10	10
- Iniciar a utilização da telemática com principal incidência na pesquisa de informação na INTERNET e nas possibilidades de comunicação/intercâmbio entre alunos e professores de várias escolas e países;	10	10	10
II – Acompanhamento de projectos nas escolas, envolvendo professores e alunos:			
- Dar apoio logístico, tanto técnico como pedagógico, através de aconselhamento e acompanhamento da implementação dos projectos das Escolas aprovadas no âmbito do programa Nónio Século XXI;	15	20	15
- Proporcionar acompanhamento nos projectos de experimentação e avaliação de software educativo e de guiões de actividades;	15	20	20
- Apoiar e incentivar a criação de clubes de informática, de jornalismo, de vídeo e de outras iniciativas, centradas sobre os alunos e visando o aproveitamento das suas capacidades e criatividade através das potencialidades das TIC;	15	15	15
III – Desenvolvimento de software educativo:			
- Ministrar formação psicopedagógica para a concepção, desenvolvimento e avaliação de programas educativos;	0	10	5
- Facultar preparação técnica no âmbito de linguagens/sistemas de programação e desenvolvimento de software educativo;	0	5	10
- Acompanhar todo o ciclo de vida (concepção, implementação e avaliação) dos programas educativos a desenvolver.	0	0	10

Figura C.2: Actividades propostas pelo Centro de Competência da ESEV

Tipo de Actividades	Intervenientes	Espaço Físico	Avaliação
I – Formação básica de professores:			
<ul style="list-style-type: none"> • Cursos de Formação • Seminários • Grupos de Reflexão 	Formadores do Centro de Competência Professores do ensino básico e secundário	ESEV	Inquéritos
II – Acompanhamento de projectos nas escolas, envolvendo professores e alunos			
<ul style="list-style-type: none"> • Grupos de discussão • Sessões de trabalho 	Formadores do Centro de Competência Professores do ensino Básico e Secundário Alunos do ensino Básico e Secundário	Escolas do Ensino Básico e Secundário	Inquéritos Relatórios
III – Desenvolvimento de Software educativo			
<ul style="list-style-type: none"> • Cursos de formação • Seminários • Sessões de trabalho 	Formadores do Centro de Competência Professores do ensino Básico e Secundário Alunos do ensino Básico e Secundário	ESEV Escolas do Ensino Básico e Secundário	Grelhas de avaliação Relatórios

Figura C.3: Organização das actividades do Centro de Competência da ESEV

Apêndice D

Inquérito

Universidade de Aveiro - Departamento de Matemática

Mestrado em Ensino da Matemática

Tema: “Sistema Inteligente de Ensino Assistido por Computador”

INQUÉRITO

Agradeço a participação de todos os alunos do 7º B da Escola Secundária com 3º Ciclo do Entroncamento, que colaboraram neste projecto, utilizando o programa SA3CG aquando a leccionação do tema *Geometria*.

Gostaria que respondessem às seguintes questões, afim de completar o trabalho. Obrigado.

Assinala com um círculo a resposta que melhor se adequa à tua opinião.

(i). Tens computador?

Sim

Não

(ii). Tens acesso à Internet?

Sim

Não

(iii). Com que frequência utilizaste o programa SA3CG?

Nunca

Raramente

Algumas vezes

Frequentemente

- (iv). Se respondeste "nunca", "raramente" ou "algumas vezes" indica algumas razões que justifiquem essa resposta.

- (v). Sentiste dificuldades na utilização do programa?

Sim

Não

- (a) Se sim, indica quais foram essas dificuldades.

- (vi). Consideras o programa um bom instrumento de apoio ao estudo?

Sim

Não

- (vii). Deixa algumas sugestões que consideres relevantes para um melhor funcionamento do programa.

Obrigado

A Professora Elsa Oliveira